INFORMATION REPORT INFORMATION REPORT

CENTRAL INTELLIGENCE AGENCY



S-E-C-R-E-T 50X1-HUM

50X1

COUNTRY USSR

REPORT

SUBJECT Soviet Text on Thermal Management at Metallurgical Plants

DATE DISTR. 27 March 1959

NO. PAGES 1

REFERENCES RD 50X1

DATE OF INFO.

PLACE & DATE ACQ

SOURCE EVALUATIONS ARE DEFINITIVE. APPRAISAL OF CONTENT IS TENTATIVE. 50X1-HUM

1. Russian-language text entitled Teplosilovoye Khozyaystvo Metallurgicheskikh Zavodov (Thermal Management at Metallurgical Plants), authored by Docent D.S. Zhevakhov and published in Sverdlovsk and Moscow in 1949 by the State Scientific Research Publishing House for Literature on Ferrous and Non-Ferrous Metallurgy. 50X1-HUM 50X1-HUM

2. The text is intended for use by technical schools of the Ministry of Metallurgical Industries, as well as a general manual for workers and technicians, and covers general aspects of thermal management at metallurgical plants. Gas heating management is not covered in the text.

3. The following pages are missing from the 354-page text: 32 to 45, 52 to 55, 58 to 61, 194 to 199, 202 to 207, 298 to 299, and 328 to 329.

4. The attachment may be considered UNCLASSIFIED when separated from the covering report.

Distribution of Attachment:

ORR: Retention (Copy No. 1) 50X1-HUM

50X1-HUM

S-E-C-R-E-T 50X1-HUM

| STATE | X | ARMY | X | NAVY | X | AIR | X | FBI | | AEC | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|

(Note: Washington distribution indicated by "X"; Field distribution by "#".)

INFORMATION REPORT INFORMATION REPORT

STAT

Page Denied

Next 1 Page(s) In Document Denied

Declassified in Part - Sanitized Copy Approved for Release @ 50-Yr 2014/02/05 : CIA-RDP81-01043R003300130002-5

Доц. Д. С. ЖЕВАХОВ

# ТЕПЛОСИЛОВОЕ ХОЗЯЙСТВО МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ЗАВОДОВ

*Допущено Управлением учебными заведениями Министерства металлургической промышленности в качестве учебника для металлургических техникумов*





ГОСУДАРСТВЕННОЕ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
ЛИТЕРАТУРЫ ПО ЧЕРНОЙ И ЦВЕТНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ
*Свердловск* 1949 *Москва*

[illegible] техн. наук *В. И. Китаев*
[illegible] техн. наук *В. В. Петровский*

**АННОТАЦИЯ**

[illegible]ются все вопросы теплосилоснабжения металлургического завода, за исключением [illegible], представляющего собой [illegible].

[illegible] излагаемым в книге, [illegible] в конце глав помещены [illegible] проверки.

[illegible] для техникумов [illegible] руководством [illegible] теплосиловые [illegible].

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Гениальные начертания В. И. Ленина, воплощенные в плане ГОЭЛРО, заложили новые принципы организации энергетического хозяйства нашей страны, а вместе с ним и всех отраслей промышленности. Уже творцы первых крупных металлургических комбинатов нашей страны Г. К. Орджоникидзе, академик И. А. Бардин и другие видные металлурги совместно с основоположниками советской энергетики академиками Г. М. Кржижановским, А. В. Винтером, К. К. Вашковым, К. А. Смирновым, М. К. Поливановым и другими создали новую энергетическую схему Советского металлургического комбината, в основу которой положены новые социалистические принципы размещения промышленных предприятий у источников сырья, образование металлургических комбинатов с полным металлургическим циклом, с максимальным использованием отходящего газа и тепла печей и аппаратов и полной механизацией и электрификацией всех трудоемких процессов. Эти принципы, дополненные в годы Сталинских пятилеток стахановской организацией труда, усовершенствованием технологических процессов и автоматизацией их, поставили металлургические заводы в ряды передовых предприятий нашей страны.

В системе народного хозяйства металлургическая промышленность является крупнейшим потребителем топлива: 18% добываемого топлива используется в металлургической промышленности, а каждый процент сэкономленного топлива составляет сотни тысяч тонн.

Если процесс выработки и использования энергии и тепла на современной заводской ТЭЦ доведен до высокого совершенства и дальнейшее увеличение экономии топлива связано с известными трудностями и затратами, то в неэнергетических цехах энергия и тепло используются зачастую крайне неэкономично. Так, например, часть промышленных печей работает без использования отходящего тепла, аппараты, потребляющие пар в качестве греющей среды, часто работают с низким коэфициентом теплопередачи, без использования выхлопного пара и теплоты конденсата. Конденсатно-дренажному хозяйству уделяется мало [illegible].

[illegible] теплоизоляция еще недостаточно развита и внедряется [illegible] темпами.

К теплотехнику современного металлургического завода, исходя из сказанного, должны быть предъявлены очень высокие требования. Специалистам этого профиля в их практической деятельности приходится обслуживать самое разнообразное теплотехническое оборудование, начиная с крупных и весьма совершенных агрегатов заводской ТЭЦ и кончая промышленными печами, котлами-утилизаторами и сложной системой коммуникации. Поэтому при подготовке теплотехника металлургического завода уже в процессе обучения необходим курс, который объединил бы все пройденное ранее и направил бы внимание будущего теплотехника на решение основных вопросов экономии топлива. Таким курсом в цикле специальных дисциплин является курс «Теплосиловое хозяйство металлургических заводов».

Настоящая книга представляет собой учебник для техникумов металлургической промышленности, составленный в соответствии с программой специального цикла «Паросиловые установки металлургических заводов», утвержденной УУЗом Министерства металлургической промышленности.

В процессе обучения в техникуме учащиеся знакомятся с работой отдельных агрегатов. Это, однако, не означает, что учащийся получает достаточно знаний для понимания всей теплосиловой установки в целом.

Ряд связующих элементов теплосилового хозяйства завода не рассматривается в отдельных курсах, как, например: паропроводы, дренажное хозяйство, питательные трубопроводы, теплоиспользующая аппаратура завода, теплосети, тепловая изоляция.

В настоящем учебнике изложены основы тепловых процессов и освещены задачи внедрения новой техники, как-то: повышение начальных давлений пара, развитие теплофикации и т. п., и наряду с этим рассмотрены основные положения по вопросам заводских тепловых коммуникаций, теплоизоляции, теплоиспользующей аппаратуры и т. д.

Значительно меньше места уделено конструкциям, так как при быстром росте техники в нашей стране конструкция оборудования претерпевает значительные изменения в короткий период времени и в этой части лектору, ведущему курс, предоставляется полная возможность подобрать наиболее новый и современный материал.

В главе IX книги конкретизируется приказ № 237, изданный 6 апреля 1949 г. министром металлургической промышленности, направленный на качественное улучшение процессов и экономию топлива.

*Автор*

*ГЛАВА I*

# МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЕ ЗАВОДЫ КАК ПОТРЕБИТЕЛИ ТЕПЛОВОЙ И ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

## 1. Производственное энергопотребление

Современный металлургический завод в условиях социалистического хозяйства нашей страны представляет собой предприятие, на котором осуществляется ряд производственных процессов, связанных между собой в определенной последовательности. Такое комбинирование обладает ценными преимуществами, как например: сокращение расходов на транспорт, использование сырья (топлива, руды и т. п.) для нескольких видов производства одновременно, использование отбросов одного вида производства в качестве сырья для других видов (доменный газ для получения энергии, отбросы коксового производства в виде газа и смолы для получения ценных химических продуктов).

Технологическая схема современного металлургического завода наиболее распространенного в СССР типа дана на рис. 1.

Для нас особый интерес представляет энергетическая связь отдельных цехов завода. ТЭЦ металлургического завода доставляет электроэнергию и пар всем цехам завода, а также сжатый воздух доменному цеху. В свою очередь ТЭЦ получает от заводских цехов так называемые производственные отбросы — доменный газ, коксовую мелочь. Эти отбросы служат источником получения электрической энергии и производственного пара наравне с топливом, доставляемым со стороны и сжигаемым в топках котельной ТЭЦ.

Черная металлургия по мощности энергопроизводящих установок, расходу топлива, многообразию вторичных энергоресурсов должна быть поставлена на первое место при учете потребления энергии отдельными отраслями народного хозяйства. С точки зрения производственного энергопотребления отдельные цехи металлургического завода резко отличаются друг от друга. Одни характеризуются наличием значительных отбросных энергоресурсов (доменное и коксовое производство); другие (например прокатное), являясь производством, поглощающим большое количество электроэнергии (энергоемким), почти не имеют отбросных энергоресурсов.

В связи с этим для всестороннего решения вопроса о снабжении металлургического завода энергией и топливом целесообразно кратко охарактеризовать энергетику каждого цеха, чтобы в дальнейшем легче было перейти к общей схеме энергоснабжения завода.

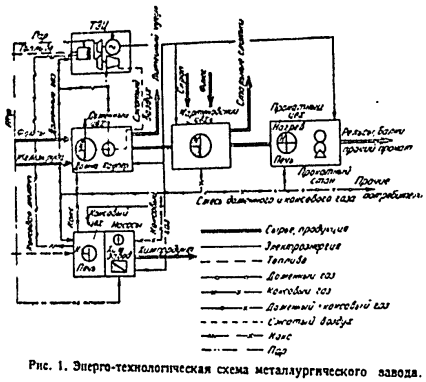



Рис. 1. Энерго-технологическая схема металлургического завода.

## 2. Потребление тепловой и электрической энергии основными производственными цехами

### Коксовый цех

По своим масштабам этот вид производства с трудом умещается в понятие цеха и обычно называется коксохимическим заводом.

Сырьем для коксохимического цеха (завода) служит кокс сующийся уголь.

Полученный [illegible] в основном на удовлетворение потреб ностей доменного цеха. Отбросами производства является кок совый газ, [illegible] теплотворную способность 4000 [illegible]

Химический состав [illegible] газа в объемных процентах водорода $H_2$ — [illegible] тяжелых углеводородов



$C_m H_n$ — 1,5; окиси углерода CO — 7; углекислого газа $CO_2$ — 3; азота $N_2$ — 7. Удельный вес газа при 0° и 760 мм рт. ст. $\gamma = 0{,}5$ *кг/нм*³.

Для улавливания ценных продуктов, находящихся в связанном состоянии в коксовом газе, при коксовом заводе обычно располагают химический завод.

Расход сухого угля на получение 1 *т* кокса составляет 1,3—1,4 *т*.

Тонна коксующегося угля дает следующий выход продуктов:

| | | |
|---|---|---|
| кокса . . . . . | 700 *кг* | |
| коксовой мелочи . . | 50 » | ($Q_p^н = 5100$ *ккал/кг*) |
| каменноугольной смолы | 20 » | ($Q_p^н = 9000$ » ) |
| коксового газа . . | 300 » | ($Q_p^н = 4000$ *ккал/нм*³ с. г ) |

Коксовая мелочь, смола и коксовый газ составляют вторичные энергоресурсы цеха. Кроме того, значительным источником энергии является физическое тепло раскаленного кокса, которое может быть уловлено в устройствах для «сухого гашения».

При установке специальных котлов-утилизаторов за счет физического тепла можно получить на тонну горячего кокса 250 000 *кал*, за счет которых паровой котел может дать 400 *кг* пара давлением 5—14 *ата*.

Как видно из сказанного, коксовый цех может служить источником для получения больших количеств энергии в виде тепла.

Коксовый газ используется как топливо в смеси с доменным для сжигания в мартеновских печах и нагрева слитков в прокатном цехе. Коксовая мелочь может сжигаться в топках котельной ТЭЦ. Пар, полученный при сухом гашении, может направляться также в систему ТЭЦ для дальнейшего использования.

Коксовый цех является одновременно потребителем электроэнергии, которая расходуется на привод углетранспортирующих и угледробильных механизмов и на освещение.

Расход электроэнергии на эти цели составляет 7 *квтч/т* кокса. На химическом заводе расход электроэнергии составляет 8 *квтч/т* кокса, а всего на тонну кокса по коксохимическому заводу можно принять расход электроэнергии в 15 *квтч*.

Расход кокс[illegible] шихтовой [illegible] составляет примерно 1,05 *т* кокс[illegible] [illegible] химиков коксохимическо[illegible] [illegible] 25 *кг* [illegible] на 1000 *т* производимого кокс[illegible] [illegible] с выпуском 365 000 *т* кокса

в год, что удовлетворит потребностям доменной печи производительностью 1060 *т/сутки*, потребная мощность составит:

$$\frac{365000}{1000} \cdot 2{,}5 = 910 \text{ квт}.$$

Помимо электроэнергии, коксохимический завод потребляет для технологических целей химического завода пар низкого давления 1,2—1,3 *ата* в количестве 280 *кг/т* кокса (для химического завода производительностью 365 000 *т* кокса в год это составит 15 *т* пара в час).

Завод работает круглый год. Тепловой баланс коксохимического завода приведен в табл. 1.

Таблица 1

Тепловой баланс коксохимического завода на тонну кокса

| Элементы баланса | *Ккал* | % |
|---|---|---|
| **Приход тепла** | | |
| С коксующимся углем | 9340 | 91,6 |
| С обогревающим доменным газом | 860 | 8,4 |
| Итого | 10200 | 100,0 |
| **Расход тепла** | | |
| С теплотворной способностью: | | |
| кокса | 7000 | 68,54 |
| коксовой мелочи и коксика | 473 | 4,64 |
| смолы | 270 | 2,65 |
| коксового газа | 1610 | 15,84 |
| С теплосодержанием: | | |
| пара из конвертера-утилизатора | 264 | 2,59 |
| Прочий | 275 | 2,71 |
| Итого | 9892 | 96,97 |
| **Потери** | | |
| С уходящими газами | 160 | 1,57 |
| В окружающую среду и неучтенные | 148 | 1,46 |
| Итого | 308 | 3,03 |
| Всего | 10200 | 100,00 |

Из приведенного энергии на ТЭЦ, очевидно, может быть использовано на тонну кокса:

пара в турбине . . . . . 473 *ккал*—4,64%
пара из конвертера-утилизатора . . . . . 264 *ккал*—2,59%
Всего . . . 737 *ккал*—7,23%

## Доменный цех

Доменный цех — один из основных на металлургическом заводе. Продукция доменной печи является чугун литейный, поступающий на переплавку в литейные цехи, или передельный, поступающий в сталелитейный цех для производства стали. Чугун выпускается 4—5 раз в сутки, шлак — каждые 2—3 часа. Побочной продукцией и отходами являются доменный газ и шлак.



Средняя производительность старых доменных печей — 250—350 *т/сутки* при объеме 250—300 $м^3$. Современные доменные печи имеют производительность до 1500 *т/сутки*. Крупная современная доменная печь является грандиозным сооружением, требующим мощных транспортных устройств для подвозки и подъема руды, флюса и топлива, мощных воздуходувных устройств, а также надежного водоснабжения для охлаждения кладки печи и ответственных деталей.

Неотъемлемым устройством для доменной печи являются кауперы — подогреватели воздуха, поступающего в домну. Подогрев осуществляется путем сжигания в кауперах доменного газа. Обычно при доменной печи устанавливается четыре (иногда три) каупера. Два из них нагреваются сжигаемым в них газом; в одном нагревается воздух, идущий в доменную печь, и один каупер находится в резерве или ремонте. Воздух в каупере, нагреваясь до 450—800°, обеспечивает возможность получения необходимых высоких температур в доменной печи.

Материальный баланс доменной печи в тоннах на тонну чугуна приведен в табл. 2.

Таблица 2

Материальный баланс доменной печи в тоннах на тонну чугуна

| Статья баланса | Тонн | % |
|---|---|---|
| **Приход** | | |
| Шихта | 3,255 | 46,4 |
| Воздух (дутье) | 3,790 | 53,6 |
| Итого | 7,045 | 100,0 |
| **Расход** | | |
| Чугун | 1,000 | 14,2 |
| Шлак | 0,600 | 8,5 |
| Доменный газ | 5,225 | 74,2 |
| Примеси доменного газа (пыль, влага, сера) | 0,220 | 3,1 |
| Итого | 7,045 | 100,0 |

Основным потребителем энергии и источником вторичных энергоресурсов в доменном цехе является доменная печь

Доменный (колошниковый) газ имеет следующий состав (в %).

| | |
|---|---|
| Азот $N_2$ | 57—58 |
| Углекислый газ $CO_2$ | 9—12 |
| Окись углерода CO | 27—31 |
| Метан $CH_4$ | 0,2—0,4 |
| Водород $H_2$ | 2,5—3 |

Рабочая теплотворная способность доменного газа 800—1000 *ккал/м³*.

Выход доменного газа на тонну чугуна составляет около 1000 *м³*, колеблясь в пределах 3800—4200 *м³/т*. Газ выходит из доменной печи, имея температуру 200—300°С.

На энергопроизводство может быть использована лишь небольшая часть газа, так как основная масса его идет на осуществление металлургических процессов, что ясно видно из табл. 3.

Таблица 3

Баланс и распределение доменного газа на тонну чугуна

| Статьи баланса | *м³/т* | % |
|---|---|---|
| **Приход** | | |
| Выход газа из доменной печи | 4200 | 100,0 |
| **Расход** | | |
| На обжиг известняка | 1045 | 25,0 |
| На турбовоздуходувки | 622 | 14,8 |
| В мартеновский цех | 545 | 13,0 |
| В конверторный цех | 1096 | 26,1 |
| В прокатный цех | 560 | 13,3 |
| На агломерацию руды | 34 | 0,8 |
| На ТЭЦ | 85 | 2,0 |
| Потери | 212 | 5,0 |
| Итого | 4200 | 100,0 |

Так как всего лишь 2% получаемого газа может быть сожжено в топках ТЭЦ, то при разработке вопросов энергоснабжения завода необходимо предусматривать подачу на ТЭЦ энергетического топлива, т. е. низкосортных и местных углей.

Потребителями электроэнергии в доменном цехе являются в основном подъемно-транспортные механизмы и, кроме того, газоочистительные устройства и освещение.

Суммарный расход электроэнергии на подъемно-транспортные устройства доменного цеха составляет 5 *квтч* на тонну выплавленного чугуна.

Расход электроэнергии на очистку газа — от 8,8 до 10,0 *квтч* на тонну чугуна, или от 2,2 до 2,5 *квтч* на 1000 *м³* газа.



Расход воды на охлаждение доменной печи — от 25 до 40 *м³/т* чугуна. Расход электроэнергии на подачу воды зависит от местных условий (расположение водоема, длина сетей и т. п.).

Расход электроэнергии на освещение составляет 1 *квтч* на тонну чугуна

Общий расход электроэнергии на тонну выплавленного чугуна — 8—14 *квтч* (без учета водоснабжения, агломерации руды и подачи газа).

Значительного расхода энергии требуют воздуходувные устройства. В настоящее время для снабжения доменных печей сжатым воздухом устанавливают исключительно турбовоздуходувки. Воздуходувные устройства размещают на большинстве новых заводов в машинном зале ТЭЦ, там же, где установлены турбогенераторы. Это позволяет использовать общую котельную, здания и персонал ТЭЦ.

Расход воздуха (дутья) на тонну чугуна примерно 4 *т*, или 3000 *м³/т* по объему. Воздух должен быть подан под давлением, чтобы преодолеть сопротивление каупера, а главное — слоя шихты в самой печи.

Давление дутья принимают 1,1—2,6 *ата*.

Расход электроэнергии на дутье на тонну чугуна — 100—125 *квтч*.

Воздуходувки, как правило, имеют непосредственно турбинный привод и фактически электроэнергии не расходуют, за исключением небольших установок, где иногда применяют электромоторный привод воздуходувок.

Турбовоздуходувки устанавливают по одной на каждую доменную печь и сверх того одну резервную на всю группу.

## Мартеновский цех

На отечественных металлургических заводах широко применяется мартеновский способ производства стали, позволяющий выплавлять сталь не только из жидкого чугуна, но частично и из стального лома.

Процесс в мартеновской печи протекает при температурах 1700—1800°С. Такие высокие температуры в печи получают за счет предварительного подогрева до температуры 700—900°С поступающих в печь газа (в частности смеси доменного и коксового газа) и воздуха.

Подогрев газа и воздуха производится в кирпичных регенераторах за счет тепла отходящих из мартеновской печи продуктов горения. Отходящие газы после регенератора имеют температуру в пределах 450—600°С. Количество тепла в отходящих газах 300 000—400 000 *кал* на тонну выплавленной стали.

### 8. Потребление тепловой и электрической энергии вспомогательными цехами завода

Расход электроэнергии вспомогательными цехами завода приведен в табл. 5.

Таблица 5

Расход электроэнергии вспомогательными цехами

| Наименование цеха | Единица измерения | Расход электроэнергии в *квт ч* на единицу продукции вспомогательного цеха | Единиц на тонну чугуна |
|---|---|---|---|
| Механическая мастерская | *т* | 400 | 0,004 |
| Кетельная | » | 200 | 0,002 |
| Столярная | » | 22 | 0,010 |
| Модельная | » | 90 | 0,001 |
| Завод шлакокирпича | шт. | 0,02 | 8,5 |

Расход электроэнергии на водоснабжение завода ориентировочно можно принять в 20 *квтч* на тонну выплавленного чугуна. На освещение завода, принимая во внимание освещение рабочих цехов при заводе, а также освещение заводской площади, можно принять 10 *квтч* на тонну выплавленного чугуна, что составит 4% всего потребления электроэнергии заводом на [illegible] нужды.

[illegible] расхода тепла на отопление заводских зданий [illegible] принять во внимание, что кубатура производственных [illegible] отечественных металлургических [illegible] по [illegible] подсчетам около [illegible] на тонну чугуна. Средний за [illegible] сколько 11,9 *ккал/м*³ [illegible] часов расход [illegible]

[illegible] т чугуна [illegible]

[illegible]мая кубатура [illegible] 32 140 [illegible] м³.

[illegible]ть в тепле за отопительный сезон выразится в [illegible] 5000 = 14,28 · 10¹⁰ *ккал*, а в переводе на услов[illegible]на тонну чугуна это составит:

$$\frac{14{,}28 \cdot 10^{10}}{[illegible] \cdot 10^{6} \cdot 7 \cdot 10^{6}} = 0{,}0140\ т.$$

Донбасса равна 0,00794 *т*.

[illegible] города в основном необходимо горячее [illegible] прачечные и т. п.). При расходе теплой [illegible] в год и температуре горячей воды 50 и [illegible] тепла в год для соцгорода при заводе с [illegible] 1150 тыс. *т* чугуна в год составит

[illegible] 32 110 *т* = 70,7 · 10⁹ *кал*.

[illegible] топливо,

[illegible] 10,1 · 10³ *т/год*.

[illegible] тонну чугуна необходимо

[illegible] 7 *т* усл. топлива.

[illegible]топлива необходимо учесть газ[illegible]ксового газа к очагам для [illegible]ля обслуживания соцгоро[illegible]плавленного чугуна, что [illegible] усл. топлива.

[illegible]потребление заводом,

[illegible]ческим потреблением

[illegible]ционализа-

[illegible]

Таблица

Энергетический баланс металлургического завода (тонна — в тыс. *т* условного топлива; пар — в тыс. *т*)

| | Уголь коксующийся | | Кокс | | Коксик и коксовая мелочь | | Коксовый газ | | Доменный газ | | Пар | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | приход | расход | приход | расход | приход | расход | приход | расход | приход | расход | приход | расход |
| Коксовый цех | 2586,7 | 2586,7 | 1856,7 | — | 145,6 | — | 443,4 | 8,7 | — | 241,0 | 650 | 500 |
| Доменный цех | — | — | — | 1856,7 | 31,8 | — | — | — | 926,2 | — | — | — |
| Каупера | — | — | — | — | — | — | — | — | — | 213,0 | — | — |
| Мартеновский цех | — | — | — | — | — | — | — | 279,3 | — | 114,0 | 650 | — |
| Прокатный цех | — | — | — | — | — | — | — | 161 | — | 193,7 | 350 | — |
| Ремонтный цех | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| Потери | — | — | — | — | — | — | — | 13,3 | — | 46,3 | — | — |
| Недостаток | — | — | — | — | — | — | 18,9 | — | — | — | — | — |
| Избыток | — | — | — | — | — | 177,4 | — | — | — | 118,2 | — | 1150 |
| Баланс | 2586,7 | 2586,7 | 1856,7 | 1856,7 | 177,4 | 177,4 | 462,3 | 462,3 | 926,2 | 926,2 | 1650 | 1650 |

Рассматривая приведенный энергетический баланс можно сделать следующий вывод: по коксовому газу имеется недостаток даже без учета потребности в нем для завода огнеупоров. Если же учесть нужды в газе соцгорода, огнеупорного и шлакоплавильного заводов, то дефицит по коксовому газу достигнет для данного завода 75 000 *т* усл. топлива

После удовлетворения потребности в технологическом топливе останутся следующие ресурсы:

| | | |
|---|---|---|
| кокс и коксовая мелочь | 177 400 | *т* усл. топлива |
| доменный газ | 118 200 | » » » |
| пар от котлов-утилизаторов | 1150 000 | » » » |

Кокс может быть использован в газогенераторной установке для получения добавочного газа. Доменный газ, остатки кокса и коксовой мелочи могут покрыть потребность в топливе котельной воздуходувной станции, которая по расчету для данного завода определится в 167 500 *т* усл. топлива. Пар котлов-утилизаторов при использовании его на ТЭЦ может обеспечить выработку около 100 млн *квтч* электроэнергии при общей потребности завода 470 млн. *квтч* в год

Если предположить, что прокатный цех будет обслуживаться специальной газогенераторной установкой с использованием кокса и коксовой мелочи, то освободившийся остаток доменного газа может составить около 253 000 *т* усл. топлива, что позволит дополнительно выработать 120 млн *квтч* электроэнергии. Однако при этом варианте необходимо для работы газогенератора дополнительно 17 [illegible] топлива в виде угля, а перерасход топлива за счет [illegible] составит 7500 *т* усл. топлива. Это [illegible] мартеновских и прокатных [illegible] общей электроэнергии [illegible] для [illegible] всех [illegible] ме[illegible] [illegible] стан[illegible] [illegible]вод [illegible]ть в сме[illegible] печей [illegible]ходоваться в [illegible] с коксовым [illegible] и прокатном



При недостатке газа для прокатного цеха должны быть установлены газогенераторы.

5. В качестве дополнительного регулирующего топлива на ТЭЦ должно применяться пылевидное низкосортное топливо (кокс, коксовая мелочь, штыб, низкосортные угли и т. п.).

6. Соцгород следует располагать в районе завода так, чтобы теплофикация его была осуществлена от электростанции завода, которая должна быть выполнена в виде теплоэлектроцентрали (ТЭЦ) с одновременной подачей тепла в виде пара коксохимическому и азотнотуковому заводам.

7. Необходимо организовать использование тепла уходящих газов из металлургических печей, в первую очередь мартеновских, а также использовать тепло сухого гашения кокса

8. ТЭЦ следует разместить в одном корпусе с турбовоздуходувной станцией (ТВС).

9. На металлургических заводах необходимо вести непрерывную работу по использованию огромных масс теряемого тепла, например, физического тепла шлаков, тепла раскаленного металла после прокатки. Ускорить разрешение проблемы сухого гашения кокса, которая недостаточно [illegible] Не решенные вопросы имеют место также и в [illegible]ального распределения и аккумулирования [illegible] этих работ зависит решение вопроса [illegible] мии топлива, завозимого на ТЭЦ мет[illegible] Укрупненные показатели расхода тепл[illegible] энергии и получение вторичных энерго[illegible]

табл 7

Укрупненные показатели на единицу готовой п[illegible]

| Цех | Единица готовой продукции | Потребление | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | электроэнергии *квтч* | тепла в паре *г* | пар | [illegible] | [illegible] |
| Коксохимический | 1 *т* кокса | 15 | 0,28 | 0,4 | — | 400 |
| Доменный | 1 *т* чугуна | 8—14 | — | — | — | 4000 |
| Доменный (дутье) | То же | 100—125 | — | — | — | — |
| Мартеновский | 1 *т* стали | 13 | — | 0,3 | 2,3 | — |
| Прокатный | 1 *т* проката | 20—120 | — | 0,1—0,3 | — | — |
| Вспомогательные цехи | 1 *т* чугуна | 2,5 | — | — | — | — |
| Водоснабжение | То же | 20 | — | — | — | — |
| Освещение | » » | 10 | — | — | — | — |
| Отопление зданий | » » | — | 0,2 | — | — | — |
| Отопление поселка | » » | — | 0,1 | — | — | — |
| Горячее водоснабжение | » » | — | 0,1 | — | — | — |

ХВ[illegible] I

[illegible] комбинат? [illegible] отдельными цехами? [illegible] цехами? [illegible] энергии и тепла воз- [illegible] ного цеха металлурги- [illegible]

[illegible] провести для сокращения [illegible] ного завода?

*ГЛАВА II*

# ГРАФИКИ НАГРУЗОК ТЕПЛОСИЛОВЫХ УСТАНОВОК

## 1 Виды графиков и методы их построения

Наблюдение за электрической и тепловой нагрузкой завода (предприятия), города и района показывает, что потребление электроэнергии и тепла меняется не только по часам суток, но по месяцам года и по годам

Если записывать показания киловаттметра на электрической станции, то можно обнаружить, что эти показания непрерывно меняются Фиксируя их каждый час, можно построить график, подобный изображенному на рис. 2, для осветительной нагрузки городского района.

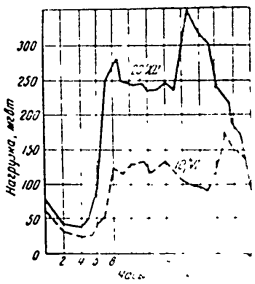



Рис 2 Летний и [illegible] нагрузки [illegible]

По ординатам графика отложена нагрузка в тысячах киловатт (мегаваттах), а по абсциссам—часы суток. Рассмотрим вначале кривую, записанную 20/XII. Кривая имеет провалы и пики.

Например, провал от 0 до 6 час., т. е. ночное время, соответствует снижению осветительной нагрузки — жизнь в городе замерла на ночь. Небольшой пик от 7 до 9 час. зимой характеризует начало работы в городе в зимнее утро, когда необходимо использовать искусственное освещение. Пик между 15 и 20 [illegible] вует времени, когда все освещение города [illegible] Между 9 и 16 часами большая сравнительн[illegible] соответствует моторной нагрузке города (трам[illegible] кие предприятия, небольшие заводы и т д)

Вершины пиков носят название м а к с и м у м о в [illegible] носят название м и н и м у м о в

Расход на собственные нужды колеблется в [illegible] 8%, от максимальной нагрузки станции и зависит [illegible] мощности станции, качества обслуживания и других факторов [illegible]

Порядок нанесения потерь на графике [illegible] щему (рис. 4).

1. От точки *1* отложим вниз 2%, максимума [illegible] графику. Получим постоянные потери в железе

2. Прибавив постоянную часть расхода на собственные нужды, которую также отложим вниз, получим постоянную часть потерь *01*.

3. Прибавим к ординатам потери, зависящие от квадрата мощности (заштрихованная и незаштрихованная зоны верхней части графика)

*Пример* При нагрузке 5000 *квт* предположим, что потери, зависящие от мощности, составят 10%, т. е. 500 *квт* При снижении мощности до 2500 *квт* снижение потерь будет $\left(\frac{5000}{2500}\right)^2 = 4$, т. е. в 4 раза меньше и составит $\frac{500}{4} = 125$ *квт*, т. е. 5% от мощности 2500 *квт*

Если, например, расход на собственные нужды составляет 6% от максимума 10 000 *квт*, то очевидно, это будет 600 *квт*. При нагрузке 5000 *квт* расход на собственные нужды составит

$$N_{с.н} = 0{,}4 \cdot 0{,}06 \cdot 10000 + 0{,}6 \cdot 0{,}06 \cdot 5000 = 420 \text{ квт}.$$

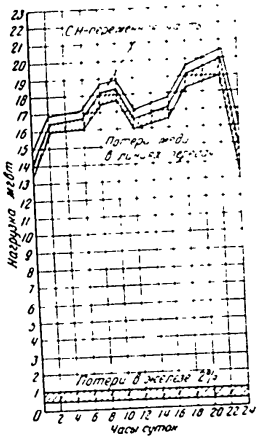



Рис 4 Нанесение на график нагрузки потерь и расхода энергии на собственные нужды

По характеру суточный график может быть неравномерным (например график на рис 2) и равномерным (например график на рис. 5) для металлургического завода Первый носит название пикового, второй базисного. Базисный равномерный график позволяет более совершенно использовать оборудование и получить хорошие технико-экономические показатели.

Графики нагрузок, приведенные на рис 2 и 5, не вполне удобны для детального анализа, так как они не дают возможности выяснить продолжительность отдельных нагрузок в часах

...ной продолжительности *A*. Поступая так ... получим кривую по продолжительности. ...м больше, чем больше будет проведено гори... Для определения продолжительности нагруз... ...но провести горизонталь *xy* и затем из ... перпендикуляр на ось абсцисс, где и прочтем ...ность нагрузки, например 7 *квт* в течение ...

Рассматривая суточный график, можно заметить, что пло... ...графика будет выражать произведение киловатт на часы, ...количество киловатт-часов, вырабатываемое станцией в те... ...ние суток. Эта величина важна для определения расхода то... ...лива станцией за сутки, поскольку расход топлива, очевидно, ...будет пропорционален количеству вырабатываемой энергии.

Суточный график не дает возможности судить о характере работы установки в течение года. С этой целью прибегают к построению годового графика по продолжительности.

Построение может быть выполнено, если допустить, что суточные характерные графики остаются неизменными в течение определенного периода. Например, зимний максимальный график имеет место в течение 3 мес., осенний и весенний — в течение 6 мес. и летний — 3 мес. или: зимний — 6 мес., осенний и весенний — 3 мес. и летний — 3 мес. Продолжительность сезонов зависит от географической широты и климатических условий места. Такое допущение неточно, так как каждый день в году имеет свой индивидуальный график.

Однако в процессе проектирования это допущение достаточно и можно ограничиться тремя характерными графиками: зимним, летним и осенне-весенним. Построение годового графика по продолжительности на основании суточных приведено на рис. 7.

По обычным суточным графикам (в левой части чертежа) строят суточные графики по продолжительности (пунктирные линии в правой части). Ординаты оставляют в масштабе левой части графика.

Что касается масштаба абсцисс, то, принимая некоторый масштаб часов, абсциссы зимнего графика берут в масштабе 1 : 1, летнего 2 : 1, осеннего 1 : 1 (для данного примера). Действительно $3 \times 30 \times 24 + 6 \times 30 \times 24 + 3 \times 30 \times 24 = 8760$ час. в год (так как летний период в два раза длительнее зимнего, а осенне-весенний равен зимнему). Получают три суточных графика по продолжительности, причем один из них с искаженными абсциссами.

Затем приступают к графическому сложению абсцисс, например для сечения *AB* при нагрузке 3 квт $x = x' + x'' + 2x'''$. Проведя аналогичную операцию для ряда точек, получают годовую

[redacted]

[redacted] график позволяет [redacted] ловатт-часах, которая представляет в некотором масштабе площадь графика, а также среднегодовую нагрузку, равную площади графика, деленной на его базу, т. е. на 8760 час.

Для изучения характери- [redacted]

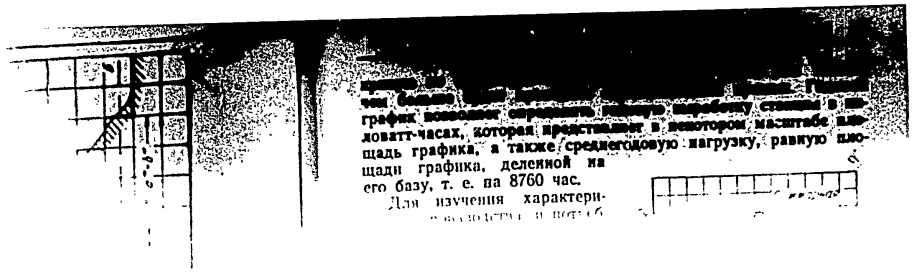


Рис. 7. Построение г[redacted]

[redacted] График тепловой нагрузки сооружения.

[redacted] параметру. Тепловое потребление сравнительно мало изучено, однако расходы тепла на отопление и [redacted] могут быть довольно точно определены.

Расход тепла на отопление (в [redacted]) [redacted] быть представлен выражением:

$$Q = \alpha V (t_{вн} - t_н) \qquad (1)$$

где $V$ — объем отапливаемых [redacted]

$\alpha$ — отопительная характ[redacted] тепла на 1 м³ [redacted] в час на 1°С ([redacted] равна 0,25);

$t_{вн}$ — внутренняя расч[redacted] быть принята по [redacted] отопления и [redacted]

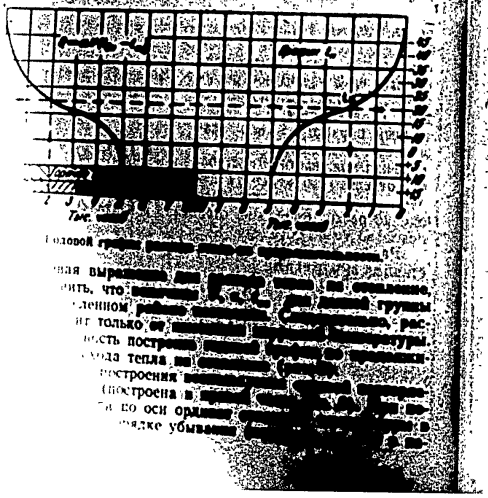
...ии она составляет +18°, больниц +20°, лаборато-...ий и мастерских +16°, крупных цехов +12—15°, и т. д.);

наружная температура, принятая в качестве расчетной для данного района.

...евод этого тепла в эквивалентные количества пара опре...ных параметров можно произвести по выражению:

$$D=\frac{Q\beta}{(i-i_к)\eta}, \qquad (2)$$

$D$ — расход пара, *кг/час*;
$Q$ — количество тепла, *ккал/час*;
$\beta$ — коэфициент потери тепла при передаче;
$i$ — теплосодержание пара (например для насыщенного пара при 1,2 *ата* $i=641$ *ккал/кг*);
$i_к$ — теплота возвращаемого конденсата (для давления 1,2 *ата* $t_к=104,2°C$);
$\eta$ — коэфициент полезного действия теплообменной аппаратуры, равный 0,96—0,98.



Годовой график ...

...ная выра... ...ить, что ... ...ленном ... группы ...ит только от ... рас...ность постро... ...ода тепла ... построения ... (построена в ... ...ки по оси орди... ...рядке убыва...



чале координат до — 45 в верхней точке), а по оси абсцисс длительность в часах от нуля до 8760, т. е. до полного календарного числа часов в год. Абсцисса каждой точки кривой ...ответствует числу часов в год, в течение которых ... не превышает ту температуру, которая дана ординатой ... пользовавшись выражением для расхода тепла $Q$ ккал ... жем построить расход тепла по продолжительности ... мости от длительности стояния температур по графику ... емости. По ординатам графика по продолжительности от ... расход тепла в *ккал/час*. $10^6$ (мегакалории), по абсциссам длительность в часах до полного календарного числа часов. Построение ясно из рис. 9.

## 2. Построение графиков нагрузки

### Выявление тепловой и электрической нагрузки металлургического завода

Наиболее совершенным методом получения натурального графика потребителя является его запись с помощью самопишущего киловаттметра. Обработка полученных подобным образом данных по разным категориям потребителей показывает, что существует вполне установившийся режим потребления энергии для каждого типа потребителя.

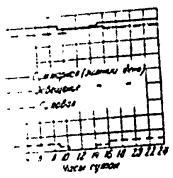
График, характеризующий потребление энергии данным абонентом, носит название **типичного, или характерного**. На рис. 10, 11, 12, 13 приведены графики различных цехов крупного металлургического завода, а на рис. 5 и 14 — типовые графики нагрузки металлургических заводов разных профилей в целом. Имея типовой график и зная суточный максимум, можно для любого цеха или завода построить график нагрузки. Правила построения сводятся к следующему:

1. Примем за основу характерный график данного абонента. Выразим ординаты не в киловаттах, а в процентах от максимума.

2. Приравняем максимум, полученный для данного абонента, к 100% и пересчитаем по нему ординаты графика на процентов в киловатты

3. Проверим площадь графика, чтобы она в известном масштабе выражала заданную выработку. Это даст возможность, пользуясь приведенными на рис. 10—14 графиками, построить график электрической нагрузки для цехов любого металлургического завода. Графики нагрузок для коммунального сектора хорошо изучены.

Так как обычно не всю установленную мощность потребители включают одновременно, то для определения мощности включенных приборов принят **коэфициент одновремен...**



10 График электрической нагрузки доменного цеха.

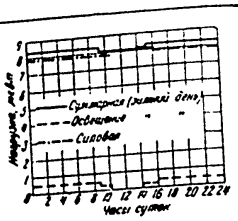
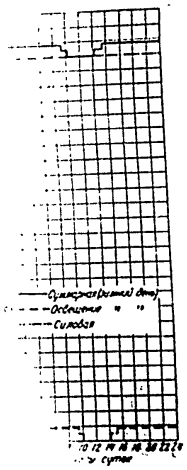



Рис. 11. График электрической нагрузки мартеновского цеха.




... электрической ...атного цеха.

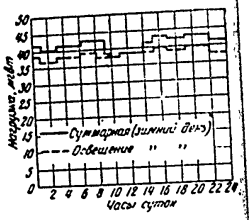



Рис. 13. График электрической нагрузки вспомогательных цехов металлургического завода.

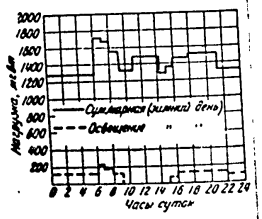



Рис. 14. График электрической нагрузки металлургического завода.



ности, который показывает отношение фактически включенной мощности ко всей установленной.

Для жилых помещений при осветительной нагрузке коэфициент одновременности составит, например, $m_{cm} = 0{,}4—0{,}7$. Для промышленных предприятий коэфициент одновременности может быть принят равным:

| | | |
|---|---|---|
| промышленность | металлообрабатывающая | 0,6—0,8 |
| • | металлургическая | 0,6—0,7 |
| • | горная | 0,6—0,8 |
| • | химическая | 0,9 |
| • | текстильная | 0,8 |
| • | кустарная | 0,3—0,5 |

Максимальная нагрузка на освещение определяется из выражения:

$$N = P_{уст}\, n \cdot m_{cm}, \qquad (3)$$

где $P_{уст}$ — установленная мощность осветительных приборов на одного жителя;

$n$ — число жителей;

$m_{cm}$ — коэфициент одновременности.

При изучении промышленного потребления электроэнергии необходимо считаться с влиянием на форму графика сменности работы предприятий.

В этом отношении металлургический завод является предприятием, работающим круглый год в три смены, кроме некоторых вспомогательных и ремонтных цехов, которые могут работать в одну смену.

Поэтому суточный график промышленной нагрузки круглый год остается постоянным и меняется лишь в части освещения, которое составляет весьма небольшой процент от общей нагрузки, что видно из приведенных графиков нагрузки металлургического завода. Имея типичные графики нагрузки, зная потребление энергии на тонну чугуна, а следовательно, и общее потребление энергии за год или за сутки, путем подбора или определения возможного максимума нагрузки определяют график нагрузки данного цеха или всего завода в целом. Более детально построение суточного графика нагрузки может быть сделано, если тщательно изучить весь технологический процесс и по нему определить изменение нагрузки

## 3. Мощность и режим теплосиловой установки в зависимости от графика нагрузки

Энергетическое производство имеет ряд особенностей Так, количество вырабатываемой энергии зависит от потребления; работа на склад невозможна — выработанная энергия используется в момент производства. Незавершенное производство от-

...ть
...длительность этой
неполное использование
...ючно, отразится на экономич-

...ть станции по максимальному пику
...вки одного из агрегатов на ремонт,
...расчета на аварийный выход одного

...ях этих требований создают резервную
...ет трех типов: ремонтный резерв, резерв
...арийный резерв. Общий резерв мощно-
...ических систем должен составлять

...ой летний график (например
...ая возможна остановка одного
...случая ремонтный резерв
...варийным, и общий резерв составит
...систем около 10%.
...ной станции резерв должен составлять: при
— 100%, при двух — 50%, при трех — 30%
...ов тем меньше, чем больше агрегатов установ-
...льшое число агрегатов повышает начальные ка-
...ты на установку, с чем необходимо считаться
...числа и мощности резервных агрегатов.
...казано, что ровный график потребления энер-
...экономичность тепловой установки, уменьшает
...капиталовложения и понижает себестоимость продук-
...му одной из задач эксплоатации энергетических си-
...ется создание условий работы установки на ровном
Методов выравнивания графика нагрузки имеется не-
...ним из методов получения ровного графика при
...льшой осветительной нагрузкой является подбор
... Например, в ночное время желательно приклю-
...объекты, как водопровод, никелировочные уста-
...ктроводогрейные котлы, пункты по зарядке аккумуля-
...таторей и т п.
...ное время снижение осветительной нагрузки может
...мпенсировано приключением сельскохозяйственных объ-
...молочильников.

...сутках в ...
в начальный период осуще...
2) перенос вечерних смен на п...
3) ограничение мощности потребит...
потребителей со станции или районных подс...
В металлургической промышленности при трех...
те и ровном, сравнительно, графике нагрузки не встречается не-
обходимости в регулировании потребления энергии указанными
выше способами.

Весьма важным вопросом, обеспечивающим возможность полного использования мощности турбогенераторов на ТЭЦ, является повышение значения cos φ.

На предприятиях существует специальная премиальная система, стимулирующая борьбу за повышение значения cos φ, путем полной загрузки электродвигателей.

### 4 Способы и источники покрытия графиков тепловой и силовой нагрузок

Мощность ТЭЦ завода может быть снижена за счет резервных агрегатов, необходимость в которых отпадает, если осуществить связь ТЭЦ с энергосистемой района.

Покрытие графика нагрузки завода, как по электроэнергии, так равно по теплу и воздуху, должно осуществляться с максимальным использованием внутренних тепловых ресурсов завода в виде отходящего тепла всех параметров. Конкретно могут быть намечены следующие условия для получения максимального технико-экономического эффекта.

1. Использование отбросного пара при производстве электроэнергии вместо конденсации его на одной из теплоемких производств (например химического комбината, теплиц ОРСа и т. п.).

2. Сооружение при заводе кузнечного прессового цеха для использования пара.

3. Комбинирование металлургического завода с машиностроительным при общем снабжении энергией.

4. Использование отбросной коксовой мелочи для газогенерации с тем, чтобы отходы доменного газа могли быть направлены на энергопроизводство.

5. Комбинирование энергетики завода с районными сетями и станциями.

[illegible] максимума в различных [illegible] мощности

| [illegible] | [illegible] |
|---|---|
| [illegible] | [illegible] |
| [illegible] | [illegible] |
| [illegible] | 8000 |
| [illegible] | [illegible] |
| Металлургический завод [illegible] | 400—500 |
| Производство фосфатов | 7000 |
| Производство карбида кальция | 8000 |
| Производство синтетического аммиака | 8000 |
| Производство хлора | 8000 |
| Производство портландцемента | 5000 |
| Городское освещение | 1200 |
| Городской трамвай | 1000—3000 |
| Городская бытовая нагрузка | 1000 |
| Городской водопровод | 5000 |
| Хлебозаводы | 2000 |
| Жел. дор. мастерские | 1800 |
| Мелкомоторная городская нагрузка | 9000 |

Повышение установленной мощности станции над максимумом нагрузки в сети является резервом мощности (по рис. 23 отрезок $aa'$) и представляет в масштабе величину резерва

$$N_p = \Sigma N_y - N_м \tag{12}$$

Коэфициент резерва

$$K_p = \frac{\Sigma N_y}{N_м} = \frac{1}{K_м} > 1, \tag{13}$$

При $K_p = 1$

$$\Sigma N_y = N_м$$

т. е. при $N_p = 0$ резерва не будет.

Для суждения о времени, использованном на ремонт оборудования установки, служит коэфициент рабочего времени

$$K_з = \frac{N't' + N''t'' + N'''t''' + \ldots}{8760\,(N' + N'' + N''' + \ldots)} = \frac{\Sigma Nt}{\Sigma N.8760} \tag{14}$$

где $N', N'', N'''$ — мощности отдельных агрегатов установки,

$t', t'', t'''$ — число часов работы соответствующих агрегатов



[illegible] агрегатов равной мощности, при [illegible]

$$K_з = \frac{\Sigma t}{z \cdot 8760} \tag{15}$$

Обычно $K_з < K_м$

Чем ближе значения $K_з$ и $K_м$, тем больше степень использования установленных агрегатов

## 2. Расход тепла двигателями и влияние степени нагрузки на расход тепла

Важнейшей характеристикой двигателя является количество расходуемого тепла, иными словами — топлива.

Основной задачей при конструировании двигателей и проектировании теплосиловой установки является снижение расхода тепла.

Расход тепла или топлива двигателем зависит от его нагрузки. Например, для паровой турбины, где расход тепла пропорционален нагрузке, можно построить диаграмму, характеризующую расход пара в зависимости от нагрузки турбины (рис. 24).

Обозначим максимальную мощность агрегата через $N_м$, и соответствующий этой мощности расход пара $D_м$, а расход пара при нулевой нагрузке—расход на холостой ход $D_х$.

Прямая $mn$ показывает зависимость между расходом пара $D$ и мощностью турбины $N$. Эту зависимость можно выразить уравнением прямой линии:

$$D = aN + b, \tag{16}$$

где $b = D_х$ — расход пара на холостой ход.

$$D_м = aN_м + D_х. \tag{17}$$

Рис. 24. Характеристика полного и удельного расхода пара в зависимости от нагрузки для турбины 25 *мгвт*.

теплосодержание пара;
турбины и электрический

$$\frac{N}{N_e}$$

$$N_e = \frac{N}{f}$$

значение в выражение расхода пара

$$D = (1 - x)\, d_3^c N + x d_3^c \frac{N}{f}$$

в конденсат

$$\frac{N_1 \cdot 860}{\eta_{em}\eta_{\text{г}}} = (i_0 - i_1) D_1 \text{ ккал/час}$$

$$\frac{N_2 \cdot 860}{\eta_{em}\eta_{\text{г}}} = (i_0 - i_2) D_2$$

$$\frac{N_k \cdot 860}{\eta_{em}\eta_{\text{г}}} = (i_0 - i_k) D_k \text{ ккал/час}$$

Суммируем левые и правые части выражений

$$\frac{(N_1 + N_2 + N_k) 860}{\eta_{em}\eta_{\text{г}}} = \frac{N \cdot 860}{\eta_{em}\eta_{\text{г}}} = D_1(i_0 - i_1) + D_2(i_0 - i_2) + D_k(i_0 - i_k)$$

Но так как $D_k = D - D_1 - D_2$,

Суммарная затрата тепла в комбинированной установке

$$Q_{I,II} = (D_1 + D_2)(i_0 - t_к)$$

$$Q_{I,II} = \frac{Q_т(i_0 - i_п)}{(i_п - t_п)} + \frac{860 N_э}{(i_0 - i_п)}(i_0 - t_к) - Q_т \frac{(i_0 - i_п)(i_0 - t_к)}{(i_0 - i_п)(i_п - t_к)} \quad (74)$$

Принимая

$$\frac{i_0 - t_к}{i_0 - i_п} = \eta_i$$

и подставляя в формулу (74), имеем:

$$Q_{I,II} = \frac{860 \cdot N_э}{\eta_i} - \frac{Q_т(i_0 - i_п)}{\eta_i(i_п - t_к)} + Q\left(\frac{i_0 - t_к}{i_п - t_к} + 1\right). \quad (75)$$

Принимая

$$\frac{i_0 - i_п}{i_п - t_к} = \chi,$$

где $i_0 - i_п$ — тепло, превращенное в работу в теплофикационной турбине;

$i_п - t_к$ — тепло, отданное потребителю из теплофикационной турбины, *ккал/кг*,

и подставляя значение $\chi$ в выражение (75), имеем

$$\frac{860 \cdot N_э}{\eta_i} - \frac{Q_т}{\eta_i}\chi + Q_т(\chi + 1)$$

$$Q\left[1 - \chi\left(\frac{1}{\eta_i} - 1\right)\right]. \quad (76)$$

[illegible] обработки [illegible]

$$\Delta Q = Q - \frac{\quad}{H_{II}\ \eta_i\ \chi}$$

где $H_{II} = i_0 - i_п$ — тепло, использованное в турбине с противодавлением, *ккал/кг*;



$H_1 = i_0 - i_к$ — тепло, использованное в конденсационной турбине;

$i_к - t_к$ — тепло, отданное охлаждающей конденсатор воде;

$i_п - t_к$ — тепло, отданное тепловому потребителю.

Следовательно, экономия при комбинированной выработке по сравнению с раздельной выработкой тем больше, чем больше потребление тепла на теплофикацию ($Q_т$) и чем больший теплоперепад использован в турбине с противодавлением ($H_1$). Экономия тем меньше, чем больше теплопровод, использованный в конденсационной турбине, и чем больший теплоперепад использован тепловым потребителем ($i_п - t_к$.)

Отсюда вытекает желательность уменьшения величины $i_п$, т. е. понижение теплосодержания пара, отдаваемого на теплофикацию, а следовательно, его давления и температуры.

Комбинированный процесс выработки электрической и тепловой энергии является основой технической политики, проводимой в СССР — широкой теплофикации всех отраслей народного хозяйства, в том числе и металлургической промышленности.

Рис. 30. *TS*-диаграмма [illegible]

Экономичность комбинированной выработки [illegible] путем рассмотрения процесса в *TS*-диаграмме.

На рис. 30 изображен цикл Ренкина теплосиловой установки. Линия *1—2* на диаграмме изображает адиабатический процесс в турбине.

Если повысить давление пара в конце турбины, то процесс расширения произойдет только до точки *2'*. В этом случае работа одного килограмма пара будет измеряться уже не площ. *1—2—3—4—1*, а меньшей площ. *1—2'—3'—4—5—1*. Температура отработанного пара повысится и его можно будет использовать [illegible]

[illegible] тепловой энергии, к теплу, подведенному к рабочему телу в верхнем источнике, то в цикле Ренкина этот коэфициент будет равен термическому к. п. д., так как отработавшее тепло не используется.

В теплофикационном же цикле коэфициент использования тепла равен

$$K = \frac{\text{площ } 1-1'-3-4-5-1 + \text{площ } 2'-3-8-7-2'}{\text{площ } 1-7-8-3-4-5-1} =$$

$$= \frac{\text{площ. } 1-7-8-3-4-5-1}{\text{площ. } 1-7-8-3-4-5-1} = 1.$$

Таким образом, если не считать потерь в котельной, т. е. отнести коэфициент использования тепла в теплофикационной установке к теплу, подведенному к пару, то он в идеальном случае равен единице. Такое значительное увеличение к. п. д. происходит потому, что оказалось использованным тепло, ранее терявшееся в охлаждающей воде.

Числитель дроби в выражении для коэфициента использования всегда равен знаменателю и $K = 1$.

Однако нужно стремиться к тому, чтобы первое слагаемое, представляющее собой количество тепла, перешедшее в работу, было больше, а второе слагаемое меньше.

В этом случае количество электроэнергии, полученной комбинированным путем, будет больше, и тем самым уменьшится количество энергии, вырабатываемой в этой же или в какой-либо другой установке чисто конденсационным путем.

## 5. Экономичность теплосиловых установок

Себестоимость продукции теплосиловых установок может быть определена, если известны годовые эксплоатационные расходы и количество выработанной тепловой и электрической энергии. Для теплосиловой установки, вырабатывающей только один вид продукции, например электроэнергию, себестоимость киловатт-часа (в коп.) определится по формуле:

$$s = \frac{R}{Э} \cdot 100, \qquad (79)$$

где $R$ — годовые эксплоатационные расходы, руб.

$Э$ — количество выработанной энергии в год, *квтч*.

Годовые эксплоатационные расходы складываются из следующих элементов: а) стоимости топлива $A$, б) зарплаты персонала $B$, в) стоимости вспомогательных материалов (масло, тряпье и т. п.) $C$, г) разных расходов $D$, д) стоимости электроэнергии на собственные нужды $E$ и е) амортизации $F$.

$$s = \frac{A+B+C+D+E+F}{Э}$$



или

$$s = \frac{A}{Э} + \frac{B}{Э} + \frac{C}{Э} + \frac{D}{Э} + \frac{E}{Э} + \frac{F}{Э},$$

$$a = \frac{A}{Э}; \quad b = \frac{B}{Э}; \quad c = \frac{C}{Э} \quad \text{и т. д.}$$

$$s = a + b + c + d + e + f \qquad (80)$$

$a$, $b$, $c$ и т. д. называются составляющими киловатт-часа.

Примерное соотношение статей расходов, составляющих стоимость киловатт-часа, приведено в табл. 13.

Таблица 13

**Соотношение статей расхода**

| Статья расхода | Условные обозначения | % к общей стоимости |
|---|---|---|
| Топливо . . . . | $a$ | 40—70 |
| Зарплата . . . . | $b$ | 15—20 |
| Прочие . . . . . | $c+d+e$ | 20—25 |
| Амортизация . . | $f$ | 10—12 |

По отношению к количеству вырабатываемой энергии годовые расходы принято делить на зависимые, или переменные, зависящие от выработки (топливо, смазка, некоторые эксплоатационные материалы, небольшая доля зарплаты) и независимые, или постоянные, не зависящие от выработки (амортизация, расходы по управлению, охране и т. п.).

Определение годовых расходов по отдельным статьям:

### Расход на топливо

Расход на топливо определяют исходя из его стоимости и испарительной способности.

Зная годовой график выработки энергии по продолжительности и перестроив его в график расхода пара, легко получить стоимость топлива в год:

$$R_t = \frac{D_t}{И} r_t, \qquad (81)$$

где $D_t$ — годовой расход пара в тоннах по графику,

$И$ — испарительность топлива, *т* пара/*т* топлива,

$r_1$ — стоимость одной тонны топлива.

основании штат-

ориентировочно

дия труда (маши-
тавляют часть своей по-
ствии с этим — часть стоимо-

имые на основании этого, но-

ступают в общий государ-
рядке ассигнуются на вос-
ного фонда (машин, зда-

ов дифференцированы по отраслям.
амортизации в энергохозяйстве составляет
ности (при более точных подсчетах прини-
ельно по зданиям и различным видам обо-

расходы

относят расходы связанные с эксплоатацией
ция в целом, а именно услуги мастерских и транспорт
административные, эксплоатация подсобных
ие пожарной и военизированной охраны



Общие расходы можно принимать в размере около 70% фонда заработной платы персонала с начислениями

## Расходы на собственные нужды

Под расходами на собственные нужды понимают стоимость электроэнергии и тепла, израсходованных на привод вспомогательных механизмов станции, освещение, отопление и потери в электрической и тепловой сети станции

Расходы на собственные нужды составляют значительную цифру, понижая полезный отпуск электроэнергии и тепла потребителям, а следовательно, вызывают удорожание отпущенного киловатт-часа.

В каждом случае расходы на собственные нужды должны быть определены особо.

Стоимость 1 *квтч*, использованного на собственные нужды станции, не может быть определена прямой калькуляцией, так как стоимость 1 *квтч* на собственные нужды зависит от стоимости его на шинах станции, и наоборот

Поэтому стоимость электроэнергии на собственные нужды, в частности [illegible] пускной ценой 1 *квтч* для [illegible] района (за вычетом энергоемких [illegible] льготным тарифом) и себестоимостью выработки 1 *квтч* киловатт-часа на клеммах генератора Полученная разность умножается на все количество электроэнергии, израсходованной на собственные нужды

Разность в стоимости 1 *квтч* энергии утверждается ежегодно особым приказом министра Ориентировочно разность в стоимости 1 *квтч* составит, например, для Донэнерго — 0,88, для Уралэнерго — 1,12

Для определения себестоимости 1 $м^3$ воздуха на турбовоздуходувных станциях все годовые расходы делят на количество отпущенного воздуха в тысячах куб. метров.

Расход электроэнергии на собственные нужды турбовоздуходувных станций и ее стоимость принимают по стоимости ее на ЦЭС завода или в сети, снабжающей электроэнергией данную турбовоздуходувную установку.

Вопрос определения себестоимости энергии и тепла для ТЭЦ является весьма сложным, и решение его в настоящее время принято условно.

Один из методов определения стоимости энергии и тепла в [illegible] установке (ТЭЦ), предложен инж. Гинтером[1]

[illegible] в СССР.

производства
нием

энергии, *квтч*;

*мгкал*;

с осями
угольт. е. стоиматт-часа, поy. т. е.
калории.
уравнение
неизвестных,
из значебыть задано.
задается стоимость электроэнергии, тотепла определится по треугольнику

изолированной
такое решение станет произвольным и
может иметь множество любых решений.
точного расчета, при
ных эксплоатационных
ловую и электрическую
тво тепловой энергии
го тепла.
полного расхода

*u*

где $Q_{от}$ — количество тепла, *мгкал*/год,
$Q^{р}_{р}$ — способность топлива, *ккал/кг*,
$B$ — топлива в год тыс. тонн,
$\eta^{нетто}_{к.у}$ — к. п. д. нетто котельной установки,
$k$ — поправочный коэфициент, равный 0,9, учитывающий неточность, допущенную при отнесении всех расходов на собственные нужды на стоимость электроэнергии

На производство электроэнергии относят, очевидно, расходы

$$r, \quad (100 \quad r_T)$$

**Затраты** на отпущенное тепло, при общих годовых затратах в **рублях**, составят

$$R_T = 0{,}01\, r_T\, R$$

В соответствии с этим стоимость электроэнергии

[illegible]

Стоимость тепловой энергии

[illegible]

[illegible]

[illegible]

мости [illegible]
имости [illegible]
плотворной [illegible] данного вида топлива к 1000 *кал*. [illegible] коэфициент будет помножен на стоимость 100 *кал* угля, принятого за измеритель, дает цену единицы отходящего тепла.

Например, при теплотворной способности доменного газа 900 *кал/м*³ и стоимости угля в *x* руб. за 1000 *кал*, цена 1 *м*³ газа будет

$$\left[\frac{900}{1000}\ x\right] \text{руб.},$$

...ума необходимо повысить количество
... увеличить расход на собственные
... энергии насосами
... увеличение расхода энергии на соб
... даже выше экономии (в расходе
... удаления вакуума Следовательно, в
... необходим выбор экономически це
... вакуума который называется эконо

... меняется, то меняется и вакуум
... при комбинированной выработке
... возрастает использование тепла Чем боль
... энергии вырабатывается с использованием
... тем установка экономически целесообраз-
... пара, отработавшего в турбине, мо-
... производств, а также бытовые помещения,
... в зимнее время Но и сами электростан
... потребителями тепловой энергии для нужд своего
... конденсат турбин при давлении в конденса-
... имеет температуру всего 28,6° Если эту
... в котел, то при подаче холодной воды в котел
... соединения в местах развальцовки и полу-
... Подогрев этой воды до температуры
... произведен за счет тепла топлива.
... нагреть и за счет тепла отработавшего
... двигатель Для этого следует произ-
... турбины и направить его в особый аппарат
... направляется конденсат из конденса-
... несколько отборов из разных точек тур-
... и постепенно подогревают конденсат
... необходимой для обеспечения надежного пи-

... принципиальная схема турбинной установки
... воды Давления в отборах зависят от
... желают подогреть питательную воду,
... пара предыдущего турбину, используется
... воды, уменьшая тем самым расход

... питательной воды называется регенера-
... соответствующий цикл — регене-

... пара через турбину при регено-
... что пар разделяется на ряд по-
... через всю турбину и конденси-
... обычный цикл Ренкина; осталь-

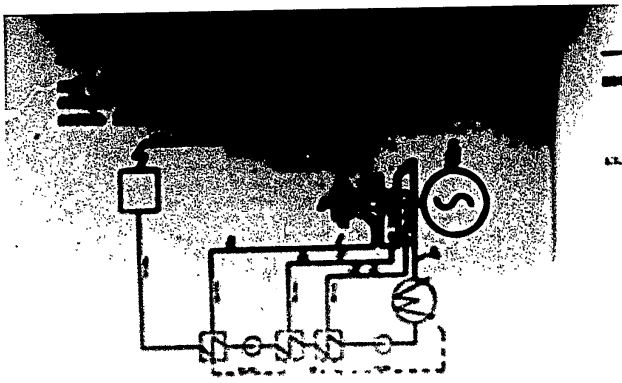


Рис. 34. Схема регенеративного подогрева питательной воды

Удельный расход пара турбиной, не имеющей отборов, найдем по формуле:

$$d_0 = \frac{860}{H_0 \eta_{oi}} \text{ кг/квт ч},$$

где $H_0 = h_0 - h_k$.

Удельный расход тепла

[illegible]

Удельный расход пара [illegible]

Удельный расход тепла

$$q_p = d_p (i_0 - i_{пв}) = \frac{860 (i_0 - i_{пв})}{[H_0 - \Sigma\alpha (H_0 - h)] \eta_{oi}}. \quad (98)$$

Экономия тепла в сравнении с обычной установкой составит в процентах

$$Э = \frac{q_0 - q_p}{q_0} 100 = \left(1 - \frac{q_p}{q_0}\right) 100 \quad (99)$$

Подставив значения для $q_0$ и $q_p$, получим:

$$Э = \left[1 - \frac{860 (i_0 - i_{пв}) H_0 \eta_{oi}}{[H_0 - \Sigma\alpha (H_0 - h)] \eta_{oi} 860 (i_0 - i_k)}\right] 100$$

$$= \left[1 - \frac{(i_0 - i_{пв})}{\left[1 - \frac{\Sigma\alpha (H_0 - h)}{H_0}\right] (i_0 - i_k)}\right] 100. \quad (100)$$

Обозначив выражение

$$A = \frac{\Sigma\alpha (H_0 - h)}{H_0} \quad (101)$$

коэффициент [illegible] выражается [illegible] выражение по формуле (99)

[illegible]

коэффициентом регенерации.

Сделав преобразование, получим выражение для определения экономии тепла в процентах

$$\Delta = \left[1 - \frac{1}{\eta} \cdot \frac{1}{\alpha} + \frac{1}{\eta}\right] 100 \qquad (102)$$

Термический коэффициент полезного действия регенеративного цикла

$$\eta_t = \frac{H - \Sigma\alpha(H_1 - h_1)}{H - h_1} \qquad (103)$$

Размер экономии был изучен в зависимости от числа отборов и температуры подогрева конденсата. Результаты расчетов и опытов приведены в виде кривых на рис. 35.

Из рис. 35 видно, что увеличение числа отборов пара повышает экономичность установки, причем максимум экономии достигается при определенной температуре подогрева питательной

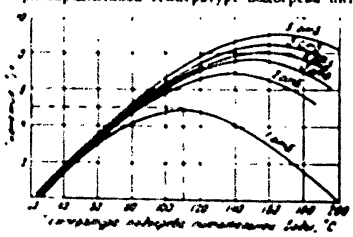


Рис. 35. Влияние числа отборов пара и температуры подогрева [illegible] в регенеративном цикле на экономию тепла

[illegible] увеличением числа отборов экономия увеличивается, [illegible] менее существенно. Исходя из того, что увеличение [illegible] усложняет установки лишними трубопроводами, [illegible] и арматурой, вызывая дополнительные потери, [illegible] в турбоустановках не применяют [illegible] выражение для полного экономичного к.п.д. [illegible]

[illegible] (104)



можно отметить, что коэфициенты полезного действия отдельных частей установки могут иметь весьма высокое значение

$$\eta_{\text{к.п.д.}} = 0{,}90; \quad \eta_{\text{пер}} = 0{,}97; \quad \eta_{\text{м}} = 0{,}87,$$

$$\eta_{\text{г}} = 0{,}98; \quad \eta_{\text{э.м}} = 0{,}98; \quad \eta_{\text{д}} = 0{,}43$$

Путем рационализации можно, конечно, еще более улучшить отдельные к.п.д., но это незначительно повышает общий коэфициент: виду низкого значения термического к.п.д. цикла Ренкина, равного 0.43. Чтобы получить ощутимый экономический эффект, прежде всего нужно повысить величину $\eta_t$, приблизив ее к значению для цикла Карно, равного 58—60%.

Низкое значение $\eta_t$ цикла Ренкина объясняется свойствами водяного пара как рабочего вещества. На рис. 36 дан в $TS$ диаграмме цикл Ренкина для водяного пара $abcde$. Количество тепла, отданное холодному источнику, — $aec'a'$.

На рисунке видно, что термический к.п.д. цикла будет тем выше, чем выше расположится линия $bc$ и чем ниже линия $ae$.

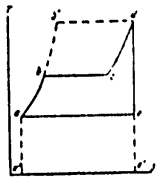


Рис. 36. Цикл Ренкина в $TS$-диаграмме.

Положение линии $bc$ определяется температурой кипения рабочего вещества, соответствующей начальному давлению пара.

Если найти рабочее вещество, у которого процесс парообразования происходил бы по линии $b'd$, к.п.д. цикла был бы значительно выше. Отсюда следует, что, чем выше температура кипения рабочего вещества, тем больше возможностей для повышения к.п.д. Имеет значение также направление линии $ab$, которым определяется отношение скрытой теплоты парообразования к теплосодержанию жидкости. Чем левее на диаграмме располагается точка $b$, тем выше к.п.д. процесса.

На к.п.д. влияет и величина температуры кипения при давлении в конденсаторе турбины. Эта температура должна незначительно отличаться от температуры охлаждающей воды. При обычно применяемых в паротехнике начальных давлениях температура кипения колеблется в пределах 310—330°С. Применение перегрева пара, который происходит при постоянном давлении, мало влияет на к.п.д., ибо процесс перегрева протекает по линии $cd$, что значительно менее эффективно, чем протекание процесса по линии $bb'$ при высокой температуре кипения.

Что касается конечного давления в цикле, то при давлениях в конденсаторе 0,03—0,04 *ата* температура воды составит 24—29°С, что весьма близко подходит к среднегодовой температуре охлаждающей воды, которую принимают в 10—15°С.

Из этого следует, что водяной пар как рабочее тело удовлетворяет условиям лишь для конечного давления в турбине и непригоден в условиях начального давления.

Понятному, невозможно найти рабочее вещество, которое удовлетворяло бы всем поставленным условиям для начального и конечного давления.

Поэтому создают так называемые бинарные циклы, в которых участвует два вещества, одним из которых попрежнему остается вода, поскольку в нижнем пределе показатели для воды (температура насыщения, теплоемкость) вполне благоприятны.

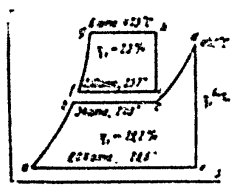


Рис. 37. Изображение цикла бинарной установки в TS-диаграмме

Другим рабочим веществом выбирают такое, которое при невысоких давлениях имеет более высокую температуру насыщения (ртуть, дифенил, бромистый алюминий). Пока распространение получила ртуть и лишь изредка дифенил. Ртуть имеет ряд недостатков: она дорога, ядовита и т. д., однако современная техника преодолела эти затруднения. Имеются примеры так называемой «надстройки» ртутных установок на устаревших паровых станциях. Такая надстройка значительно повышает общий к.п.д. установки водяного пара, однако при этом требуется замена обычных паровых котлов ртутными.

Ртутный цикл изображен на рис. 37. Точка *f* характеризует начальное состояние ртути в цикле при вступлении в ртутный котел. Путем нагрева ртуть доводится в точке *g* до состояния кипения, причем давление в котле выбирают таким, чтобы температура кипения в условиях применяемых металлов была возможно выше. Например, для ртути при 6 *ата* температура кипения равна 473°С. По линии *gh* происходит парообразование в котле; по линии *hi* — расширение пара в ртутной турбине. Конденсация в ртутном конденсаторе происходит по линии *ij*.

Ртутный конденсатор одновременно является генератором водяного пара. Конденсация ртутного пара происходит при давлении 0,12 *ата*, чему соответствует температура ртути 257°С.

Водяной пар получается при 34 *ата*. Этому давлению соответствует температура кипения воды 240°С. Ртутный конденсатор носит название конденсатор-испаритель. Образовавшийся в конденсаторе-испарителе водяной пар направляется



в перегреватель, где перегревается по линии *cd* за счет тепла газов в ртутном котле. Далее расширяется в турбине водяного пара по линии *de*, конденсируясь в конденсаторе водяного пара.

На рис. 37 приведены параметры вещества и коэффициенты полезного действия отдельных циклов и комбинированного бинарного цикла в целом. Общий термический к.п.д. такого комбинированного цикла равен 52,2%, что значительно выше обычной величины цикла Ренкина, составляющей максимум около 43%.

Введением регенеративного подогрева питательной воды и перегрева водяного пара ртутным, отбираемым из турбины, удается повысить общий к.п.д. бинарного цикла до 57,3%, что близко к к.п.д. цикла Карно, который для приведенных параметров находится в пределах 58—60%.

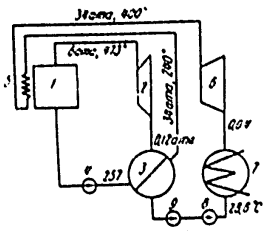


Рис. 38. Схема бинарной установки.

Схема бинарной установки приведена на рис. 38. На схеме показаны параметры рабочих веществ в отдельных точках.

В последние годы делаются попытки создания бинарных циклов с использованием некоторых свойств растворов.

Сущность этих попыток сводится к следующему. В котле за счет тепла топлива из биаммиачного хлористого цинка ($ZnCl_2 2NH_3$) получается пар аммиака.

При давлении 7,1 *ата* температура насыщения составляет 480°С и пар аммиака оказывается перегретым, что является свойством паров, полученных из растворов. Концентрация хлористого цинка в котле в процессе испарения увеличивается, и густой аммиакат направляется в смеситель, куда поступает пар аммиака, отработанный в турбине.

Здесь происходит поглощение густым аммиакатом паров аммиака и восстановление концентрации. В таком состоянии получившийся биаммиачный хлористый цинк направляется вновь в котел.

При поглощении аммиака в смесителе реакция протекает с выделением тепла. Так как температура аммиката довольно высока (при давлении 0,07 *ата* и температуре 220°С), то, пропуская горячий аммиакат через испаритель, из воды можно получить водяной пар давлением 21 *ата*. Пар этот имеет температуру 330°С и в таком виде поступает в турбину водяного пара.

[illegible] Поэтому [illegible] мический [illegible] внутреннего [illegible] ртуть [illegible] обстоятельство [illegible] не выш[illegible]

## 7. Аккумулирование тепла в паросиловых установках

[illegible] расходами пара на производство показывает, [illegible] технологических процессов имеет место

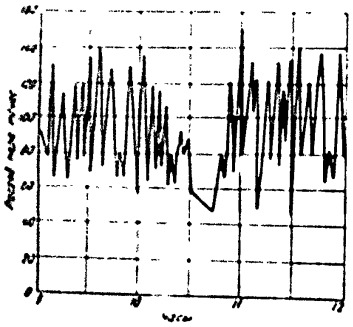


Рис. 39. График расхода пара на металлургическом заводе

неравномерный скачкообразный расход пара. На рис. 39 дан график расхода пара в течение трех часов на металлургическом заводе.

Из графика видно, что расход пара за рассматриваемый отрезок времени изменяется от 45 до 140 *т*. Такие колебания объясняются работой прокатных станов с паровым приводом, прессов, молотов и т. п.

Согласно опытам колебание нагрузки котла в пределах 50% снижает его к.п.д. на 8%. Кроме того, топка котла обладает **тепловой инерцией**, не позволяющей быстро менять режим топки.



Это особенно резко сказывается при топках для низкосортных топлив, например торфа, сжигаемого на цепных решетках, и в топках со ступенчатыми колосниками, и почти не сказывается для нефтяных, газовых и пылеугольных топок.

Из этого следует, что применение низкосортных топлив при пиковом графике не обеспечивает нормальной работы установки и требует выравнивания графика. Например, для случая, данного в графике (рис. 39), желательно, чтобы средняя нагрузка составляла около 100 *т* пара в час, а пики покрывались за счет другого источника пара, воспринимающего избытки пара в котлах при провалах нагрузки.

Таким источником может служить тот же паровой котел, особенно имеющий большой объем воды, вследствие чего он обладает способностью выравнивать работу топки за счет парообразования при понижении давления. Поэтому на многих производствах (особенно в пищевой промышленности) еще до настоящего времени сохранились и работают котлы с большим объемом воды.

Испарение за счет падения давления нашло самое широкое применение в **паровых аккумуляторах** переменного давления.

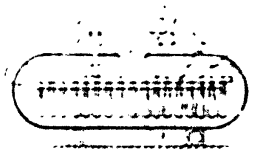
Принцип работы таких аккумуляторов заключается в следующем.

В аккумуляторе находится вода, нагретая до температуры, например 110—150°С, что соответствует давлению 1,5—5 *ата*. При установившемся процессе в аккумуляторе температура воды соответствует температуре насыщения при данном давлении в паровом пространстве аккумулятора.

При расходе пара давление в аккумуляторе понижается. Вода оказывается под давлением, например 4 *ата*, но при температуре 150°, т. е. температура воды уже не соответствует температуре насыщения. Вода перегрета по отношению к новому значению давления. За счет разности теплосодержаний жидкости при начальном и конечном давлении происходит испарение части воды, которое продолжается до тех пор, пока температура воды не будет соответствовать новому установившемуся давлению.

Обратный процесс возможен, если к воде подвести пар, повышая давление в аккумуляторе. Процесс будет продолжаться до тех пор, пока снова не установится равновесие, т. е. нормальное соотношение между температурой жидкости и давлением в аккумуляторе.

Следовательно, при работе аккумулятора, которая будет заключаться в «зарядке» и «разрядке» в зависимости от формы графика, уровень воды в аккумуляторе будет колебаться между крайними положениями.



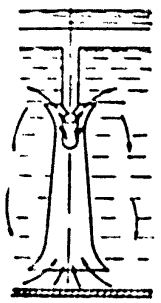


Рис. 41. Схема работы зарядного сопла и диффузора

Для обеспечения нормальной работы аккумулятора необходимо равномерное распределение тепла во всем объеме воды и в связи с этим интенсивное перемешивание ее, хорошая циркуляция. Циркуляция обеспечивается диффузорами 3.

На рис. 41 показана схема работы зарядного сопла и диффузора. Верхняя часть диффузора окружает зарядный насадок, каждый диффузор доходит почти до дна аккумулятора. При истечении пара из насадка в диффузоре образуется в верхней части разрежение, и вода из нижней части аккумулятора засасывается в диффузор.

При этом, с одной стороны, достигается хорошее перемешивание частиц пара и воды, с другой — осуществляется достаточная циркуляция и быстрый прогрев всего водяного объема аккумулятора.

При разряде аккумулятора (рис. 40) пар отбирается из сухопарника 1 через специальное расширяющееся сопло 5, сопло служит для ограничения расходования пара из аккумулятора при резком понижении давления в разрядном паропроводе.



а также для предотвращения попадания воды в паропровод при слишком бурном парообразовании. На зарядном и разрядном паропроводах установлены обратные клапаны 6, 7 и задвижки 8, 9.

Схема работы аккумулятора сводится к следующему.

Первый случай: из паропровода, соединенного с котельной и рабочими машинами, прекращается расход пара. Избыточный пар начнет поступать в аккумулятор через обратный клапан 6, конденсируясь в массе воды и повышая ее температуру в соответствии с новым установившимся давлением. При выравнивании давления в паропроводе 1 и аккумуляторе зарядка прекратится.

Второй случай: вследствие интенсивной нагрузки рабочих машин, давление в паропроводе 10 понижается. Тогда через обратный клапан 7 и задвижку 9 образовавшийся вследствие понижения давления в аккумуляторе пар поступит в паропровод для питания рабочих машин, пока не будут соответственно образом форсированы топки в котельной.

Для выравнивания колебаний в поступлении отработавшего пара паровых молотов, прокатных станов с паровым приводом, при использовании этого пара в машинах и турбинах мятого пара и на отопление, применяют аккумулятор (рис. 42), имеющий повышенное количество зарядных сопел.

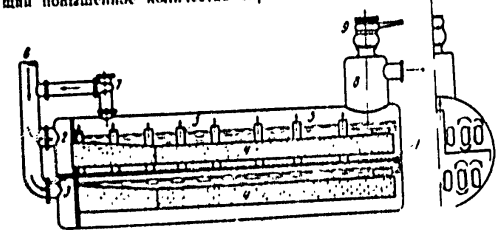


Рис. 42. Аккумулятор переменного давления для мятого пара паровых молотов.

Цилиндрический корпус аккумулятора в этом случае разделен горизонтальной перегородкой 1 на две самостоятельные части 4. Каждая половина имеет свое паровое и водяное пространства. Пар, поступающий в аккумулятор через зарядный паропровод 6, вначале разветвляется на два потока и входит в нижнюю и верхнюю распределительные камеры 2, 3. Затем поток пара распределяется по нескольким длинным горизон-

[illegible]

[illegible] в нижнем паровом [illegible] при [illegible] вертикальных [illegible]

[illegible] аккумулятор заряжается пар [illegible] случай [illegible] в паровом [illegible] аккумулятора [illegible] паропроводом 6. В [illegible] обратный клапан 7, [illegible] в [illegible], указанном стрелкой [illegible] из [illegible] 8. Но суммарная [illegible] аккумулятора [illegible] как бы термоизолированном [illegible] колебаний паровой нагрузки.

Поступающий по паровым машин [illegible] в аккумулятор, обычно загрязнен маслом. В этому случае аккумулятор устанавливают [illegible] масла выде[illegible] внутри аккумулятора.

[illegible] парового аккумулятора может быть определен по [illegible]

$$V = \frac{S}{w} n'. \qquad (10\frac{1}{2})$$

[illegible] $S$ — полная аккумулирующая способность аккумулятора в [illegible]

[illegible] — удельная аккумулирующая способность в $кг/м^3$ воды,

[illegible] — коэффициент заполнения объема цилиндра водой, обычно равный 0,85—0,90.

Полная аккумулирующая способность определяется графи[illegible] нагрузки.

Пусть расход пара в котельной изображается кривой а (рис. 43).

В любой момент действительный расход пара может быть определен по ординате $E_a$ (кг/час), средний расход пара — ординатой $E_{cp}$ (кг/час). При $E_a < E_{cp}$ происходит зарядка, при [illegible] — разрядка аккумулятора.



*Пример*

Для определения объема аккумулятора подсчитаем полную аккумулирующую способность по графику рис. 43.

Излишки пара в периоды II, IV, VI поступают в аккумулятор. При недостатке пара (периоды I, III, V) происходит зарядка аккумулятора

| № | [illegible] | [illegible] |
|---|---|---|
| 1 | -0,15 | -0,15 |
| 2 | -0,46 | -0,61 |
| 3 | -0,74 | -1,35 |
| 4 | -0,94 | -2,29 |
| 5 | -0,95 | -3,24 |
| 6 | -0,76 | -4,00 |
| 7 | -0,46 | -4,46 |
| 8 | -0,15 | -4,61 |
| 9 | +0,175 | -4,435 |
| 10 | +0,635 | -3,80 |
| 11 | +0,95 | -2,85 |
| 12 | +1,25 | -1,60 |
| 13 | +1,35 | -0,25 |
| 14 | +1,20 | +0,95 |
| 15 | +1,1 | +2,05 |
| 16 | +0,775 | +2,825 |
| 17 | +0,45 | +3,275 |
| 18 | +0,125 | +3,4 |
| 19 | -0,15 | +3,25 |
| 20 | -0,15 | +3,1 |
| 21 | -0,375 | +2,725 |
| 22 | +0,09 | +2,815 |
| 23 | +0,315 | +3,13 |
| 24 | +0,105 | +3,235 |
| 25 | -0,25 | +2,985 |
| 26 | -0,675 | +2,31 |
| 27 | -0,555 | +1,755 |
| 28 | -0,35 | +1,405 |
| 29 | -0,15 | +1,255 |
| 30 | +0,125 | +1,38 |
| 31 | +0,315 | +1,695 |
| 32 | +0,415 | +2,11 |
| 33 | +0,425 | +2,535 |

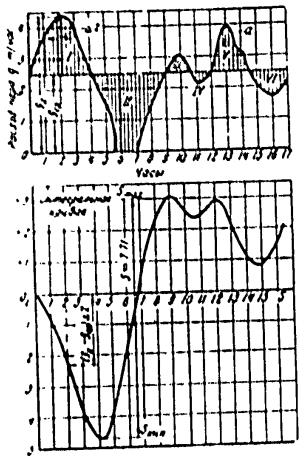



Рис. 43. Определение аккумулирующей способности аккумулятора.

Площадь диаграммы разобьем на вертикальные полоски, для данного случая соответствующие получасовому периоду.

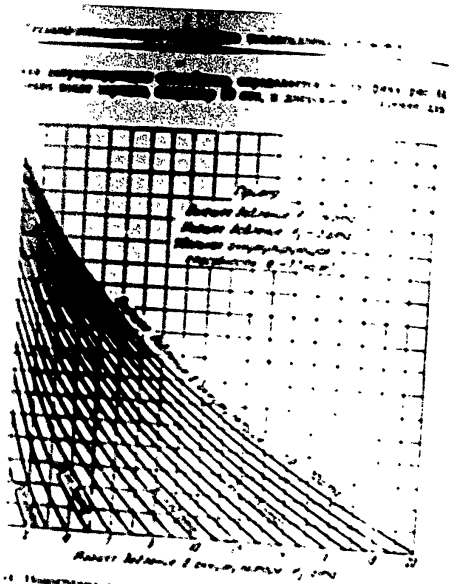
Определим в квадратных миллиметрах площадь каждой полоски и затем по принятому масштабу пересчитаем на весовое количество пара. Пронумеруем площадки и выпишем эти значения в таблице рис. 43. В третьем столбце выписываем последовательные суммы площадок, начиная с первого номера и кончая порядковым номером площадки. Площадки зарядки имеют знак плюс, площадки разрядки — знак минус.

По оси $OS$ откладываем в любом масштабе вычисленные значения сумм элементарных площадок. Кривая, построенная по этим точкам, представляет интегральную кривую для графика расхода пара.

Наибольшая разность ординат полученной кривой даст в принятом масштабе искомую аккумулирующую способность аккумулятора

$$S_{max} - S_{min} = S.$$

В данном случае $S = 7,71$ т



[illegible]

[illegible] определить объем аккумулятора по формуле (101)

$$[illegible] = \frac{[illegible]}{[illegible]} = [illegible]$$

[illegible] полезного действия аккумулятора найдем по

$$[illegible] = 1 - \frac{Q_п}{[illegible]}, \qquad (106)$$

— тепловые потери аккумулятора в окружающую среду, ккал/час.

$$Q_п = [illegible] \cdot M \cdot [illegible]; \qquad (107)$$



$F$ — $2\pi dl$ поверхность аккумулятора, м²;

$\Delta t$ разность температур между водой в аккумуляторе и наружным воздухом;

$k$ коэфициент теплоотдачи от наружной поверхности аккумулятора к окружающему воздуху. По опытам 1 ккал/м²час°С;

$\overline{G_п}$ — среднее часовое количество пара, проходящее через аккумулятор,

$i_п$ — среднее теплосодержание пара

$$\eta_{акк} = 0{,}99.$$

При существующей системе изоляции потери аккумулятора в окружающую среду так малы, что аккумулятор может быть установлен прямо на открытом воздухе рядом с котельной или машинным залом.

На рис. 45 дана схема включения аккумуляторов для крупного машиностроительного завода. Пар из парового молота после маслоочистки поступает в аккумулятор, оттуда на отопление и частично в турбины мятого пара МК-6.

Чтобы толчки при работе паровых молотов не отражались на регулировании турбин АПР-12-2, между турбиной и молотами поставлен аккумулятор переменного давления, сглаживающий толчки в паропроводе.

Принцип аккумулирования применяется в технике в самом широком масштабе. Так, например, аккумулирование горячей воды позволяет в моменты пика нагрузки (например в банно-прачечных комбинатах) покрыть эти пики сравнительно малопроизводительными котлами путем заготовки горячей воды в баках во время провалов нагрузки ночью.

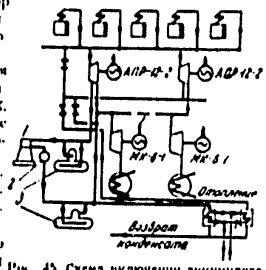



Рис. 45. Схема включения аккумуляторов переменного давления на крупном машиностроительном заводе:
1 — молот, 2 — маслоочиститель, 3 — паровой аккумулятор.

Гидроаккумуляторы позволяют в ночное время с помощью насосов накачивать воду из низколежащих резервуаров в высоколежащие с тем, чтобы в момент пика за счет падения воды приводить в движение гидротурбины, работающие параллельно с основной силовой установкой. При этом, с одной стороны, выравнивается график теплосиловой установки, а с другой — снижается ее мощность за счет нагрузки гидротурбин.

## ...ОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ К ГЛАВЕ III

...нятия о мощности и паропроизводительности

...ая нагрузка?

...что такое коэффициент использования, коэффициент использования, коэффициент резерва.

...выражение для характеристики расхода пара ...с отбором пара) Перестроить годовой график ...фика расхода пара.

...ие к.п.д. теплосиловой установки и написать

...и действительный расход топлива?

...ая выработка электроэнергии и тепла ...выражение для размера экономии ...

...ность электроэнергии и тепла ...

...ения себестоимости для комбинир...

...ения температуры пара и вакуума ...с паровыми турбинами

...ы регенеративного подогрева питательной ...ность его. Дать описание и схему ...

...аккумулятора с переменным давлением и ...

...и произвольной кривой нагрузки ...

---

*ГЛАВА IV*

# ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ, СТРОИТЕЛЬСТВА И МОНТАЖА ТЕПЛОСИЛОВЫХ УСТАНОВОК

### 1 Выбор варианта энергоснабжения металлургических заводов, выбор оборудования, числа и мощности агрегатов теплосиловых установок

Как уже было указано, энергетическое хозяйство металлургического завода существенно отличается от энергетического хозяйства всякого другого предприятия вследствие наличия на заводе значительного количества отходящего тепла всех видов (доменный и коксовый газ, отходы так называемого отбросного тепла коксового производства, мартеновских и нагревательных печей)

При известной производственной структуре завода эти ресурсы могут полностью покрыть всю потребность завода в тепле и электроэнергии Однако на заводах с большим количеством мартеновских печей и при наличии коксохимического завода, когда в коксовых печах сжигают доменный газ, а в мартеновских смесь коксового газа с доменным, как правило, собственных энергетических ресурсов нехватает для покрытия потребности завода в тепле и электроэнергии Вопрос о способе покрытия недостатка мощности, путем ли получения недостающей электроэнергии и тепла из районных сетей, или путем выработки энергии на установках завода, имеет весьма важное значение при выборе варианта

При выработке энергии на заводе необходимо решить, какие агрегаты необходимо применить — конденсационные или теплофикационные

В настоящее время, если исключить новые идеи о применении на металлургических заводах газовых турбин, окончательно установлено, что наиболее экономичным двигателем как для электрогенераторов, так и для турбовоздуходувок является паровая турбина

При выборе котельных агрегатов необходимо ориентироваться на котлы, под которыми сжигается доменный газ в смеси с пылевидным топливом обычно из местных или низкосортных углей. Сжигание коксика под котлами в пылевидном состоянии хотя и весьма желательно, однако вследствие износа размольных агрегатов пока представляет еще не решенную задачу.

2. При выборе количества и мощности турбогенераторов из числа имеющихся типов выпускаемых нашими заводами необходимо учитывать максимальное их использование в течение года и наименьший годовой расход пара, что будет характеризоваться высоким коэффициентом использования $K_и$ и коэффициентом нагрузки $l$.

3. Турбоагрегаты надо выбирать однотипные, равной мощности.

4. При выборе надо учитывать возможность ревизий и ремонта агрегатов без ущерба для отпуска тепла потребителям.

5. При выборе турбин с отбором пара можно в качестве резерва по тепловому потреблению ставить дроссельную установку для мятия острого пара до давления в отборе. Однако в случае работы дроссельной установки более 1500 час. в год необходимо устанавливать отдельный турбоагрегат с отбором пара.

6. Количество турбоагрегатов необходимо выбирать наименьшим. Если необходим резерв на расширение системы, мощность отдельных агрегатов можно несколько завысить по сравнению с требованиями покрытия графика ближайшего года, создавая таким путем **внутренний резерв** в агрегатах.

Выбор резерва зависит от значимости станции и схемы ее работы (изолированно или на общую систему).

Технико-экономические соображения являются важнейшим критерием при выборе котлов и турбин. Поэтому вначале определяют стоимость установки и размер годовых эксплоатационных расходов различных вариантов установки и затем сравнивают их между собой.

Сравнение может быть выполнено по схеме табл. 14.

Таблица 14

**Схема для определения годовых эксплоатационных расходов**

| Вариант | Стоимость топлива руб. | Амортизация, руб. | | Зарплата с начислениями, руб. | Текущий ремонт руб. | Всего руб. |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | оборудование | здание | | | |
| A<br>B<br>C | По годовому графику по продолжительности | 5,38% годовых | 2,5% годовых | После составления штатной ведомости | Около 2% годовых | |

Вариант, дающий минимальные суммарные эксплоатационные расходы, почти всегда оказывается наиболее экономичным.

Предварительные данные о стоимости зданий, оборудования, топлива и т. д. принимаются ориентировочно, исходя из опыта работы аналогичных установок.

## 2. Выбор места постройки теплосиловой установки

[illegible]

Размещение [illegible]

Выбор [illegible]

Не следует ограничивать [illegible] площадки [illegible] брать наиболее [illegible] эксплуатации

Основанием для выбора [illegible] быть

а) размер площадки [illegible] расширения

б) качество грунта [illegible] грунтовых вод и объем земляных работ

в) расположение водных бассейнов

г) расположение [illegible] железнодорожных магистралей

д) расположение грунтовых и шоссейных дорог

е) расположение теплосиловых установок относительно центров на металлургическом заводе [illegible] последних предприятий и жилых помещений

Грунт должен обеспечить монолитность [illegible] оснований и фундаментов. Не [illegible] быть [illegible] оползней, бедствий наклонных пластов [illegible] и [illegible]

Грунтовые воды должны лежать ниже оснований фундаментов главнейших сооружений во избежание тяжелых и трудоемких работ ниже горизонта грунтовых вод с применением водоотлива [illegible] рядов и [illegible]

Особое внимание должно быть уделено вопросу колебания горизонтов ближайших рек и озер в течение года

Положение максимального и минимального их уровня оказывает влияние на конструкцию здания насосной. Для береговых сооружений важно знать горизонт ледоходов, так как это может потребовать устройства специальных защитных стенок и ледорезов

Данные по режиму рек должны быть получены за 40 лет для того, чтобы иметь более точное суждение о режиме водного источника

Закладка буровых скважин на площадке для определения стояния и колебания горизонта грунтовых вод обязательна



При определении расположения площадки относительно железнодорожной магистрали необходимо учесть уклоны пути и предельные радиусы закруглений при определении возможности подвода на площадку ответвлений от железнодорожной магистрали

Желательно примыкание площадки к лоссейным дорогам, которые всегда имеются вблизи металлургического завода

Расположение теплосиловых установок относительно соседних цехов или предприятий и населенных пунктов должно быть таково, чтобы отходящие газы, зола, угольная пыль и пары от градирен и брызгал не ухудшали состава воздуха и производственного процесса

На выбор места для ТЭЦ влияет отдаленность потребителей тепла, особенно потребителей пара, которые во избежание тепловых потерь должны быть расположены как можно ближе к ТЭЦ

## 3. Выбор топлива при проектировании теплосиловой установки

Энергетическим топливом служит преимущественно твердое низкосортное или газообразное топливо. Современная энергетика использует только такое топливо, которое не может служить для металлургического или химического производства

Такие виды топлива, как кокс, газ и т. п., связывают энергетическое производство с крупной промышленностью, особенно с металлургией

При выборе топлива нужно принимать наименее ценные сорта с учетом минимальных затрат на транспортирование. Каждый из районов Союза имеет свои специфические виды местного топлива. Донбасс — отсев различных видов каменных углей и антрацитовые штыбы, Урал — богословские, челябинские, егоршинские угли и торф, Белоруссия — торф; и т. д.

Выбор топлива для теплосиловой установки должен быть всегда увязан с предположениями Госплана Союза об использовании топлив в данном районе. Характерными признаками наших низкосортных энергетических топлив являются большое содержание в них балласта т. е. влаги и золы, и, как следствие этого, низкая их калорийность ($Q_p^n$ = 2000—2500 *ккал/кг*) или при сравнительно высокой калорийности ($Q_p^n$ = 6000 *ккал/кг*) мелкозернистое строение (отсев каменных углей и антрацитовый штыб).

В первом случае это будет так называемое малотеплоплотное топливо, во втором теплоплотное, но мелкозернистое. Как то, так и другое не выдерживают дальних

[illegible]

[illegible] транспорт [illegible] может быть местным [illegible] в [illegible] нефтяных месторождений [illegible] водой

## 4. Топливоснабжение и топливное хозяйство теплосиловых установок

Прежде [illegible] для снижения расходов топлива [illegible] склад [illegible] подача [illegible] бункерам котлов

Подача [illegible] на [illegible] теплосиловой установки может быть осуществлена [illegible] железнодорожным подвижным составом водным [illegible] подвесными канатными дорогами

Установки [illegible] на берегу судоходных рек должны иметь механизированные причалы для разгрузки судов с топливом (наличие причалов не исключает подачи топлива железнодорожными составами зимой, когда прекращается навигация)

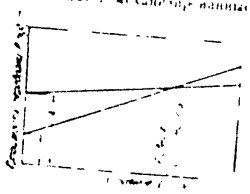


Рис. 46. График для сравнения относительной стоимости перевозок по [illegible] и железным путям

Доставка топлива водным путем уменьшает транспортные расходы и освобождает железную дорогу от перевозок топлива

Для сравнения относительной стоимости перевозок топлива водным и железнодорожным путем построен график (рис. 46)

По ординатам отложена стоимость перевозок по абсциссам — расстояние перевозки в километрах. Отрезки отсекаемые прямыми по оси ординат дают стоимость погрузочно-разгрузочных работ. 1 — водным транспортом, 2 — ж. д. транспортом. Из графика видно, что стоимость перевозок на дальние расстояния водным транспортом ниже стоимости перевозок железнодорожным транспортом.

Подача топлива на территорию станции с помощью канатной дороги осуществляется в случае непосредственной близости топливной базы от станции. По имеющимся опытным материалам предельная дальность является 20 км.



Канатная дорога экономичнее лишь при значительных расходах топлива и высоком значении коэфициента использования.

При сооружении станции вблизи торфяника подача торфа осуществляется по узкоколейной дороге с торфяника непосредственно на бункерную галлерею по наклонной эстакаде.

По правилам о железнодорожных перевозках разгрузка маршрута любого веса должна быть закончена в течение 2 часов.

Для ускорения разгрузки топлива из вагонов необходимо оборудовать специальный разгрузочный фронт вдоль железнодорожного пути. Для этого по обе его стороны устраивают канавы, куда при открытии боковых люков саморазгружающихся вагонов ссыпается топливо.

Длина разгрузочного фронта принимается в 140 м из расчета разгрузки маршрута в 1000 т, состоящего из 50 т саморазгружающихся вагонов (тондол), в два приема.

На складе должны быть предусмотрены маневровые и оборочные пути, а также весы для контрольного взвешивания отдельных вагонов.

Топливные склады при ТЭЦ металлургических заводов являются лишь небольшими отделами общезаводских топливных складов с ограниченным запасом топлива, перебрасываемым по мере необходимости с главного базисного заводского склада.

Водный транспорт требует большой механизации разгрузочных операций на береговых складах. Иногда полезно вглубь территории станции прорыть канал с таким расчетом, чтобы груженые суда подвести ближе к основным складам топлива и таким образом создать комбинированный склад, на который топливо будет поступать как сухопутным, так и речным путем.

Запас топлива на складах принимают от 15 до 30-суточной потребности станции. Этот запас может быть значительно снижен, если, как это имеет место на металлургическом заводе, имеется общезаводский базисный склад.

Хранение углей допускается в сплошных штабелях при условии принятия специальных мер против самовозгорания (контроль за температурой штабеля, уплотнение с послойной укаткой или трамбование только верхнего слоя, покрытие штабеля гидроизоляционным слоем). Высота штабеля определяется возможностями складских механизмов. Торф кусковой и фрезерный должен храниться в караванах или штабелях высотой не более 8, длиной не более 240 м, ширина штабеля не должна превышать высоту более чем в $2^1/_2$ раза.

Площадь, необходимая для расположения склада, может быть определена по формуле

$$S = \frac{B \cdot m \cdot K}{12 \cdot H_T \cdot \gamma}$$

[illegible]

[illegible] штабеля [illegible] для бу [illegible]

[illegible] штабеля м

[illegible] м

[illegible] коэффициент естественного стока равный 0,45 - 1,0

[illegible] жна при ограждении скла [illegible] стенками

[illegible] на складах понижает его [illegible] и повышает опасность самовоз[illegible]

Поэтому для [illegible] емкости рассчитанных на дли [illegible] необходимо предусмотреть большие площади [illegible] для [illegible], а локализации возможных пожаров при [illegible]

Механизация складов осуществляется обычно тремя типами устройств портальными кранами кабелькранами и скреперными устройствами

Портальные краны (рис 47) удобны в комбинации с ленточными или пластинчатыми транспортерами идущими вдоль

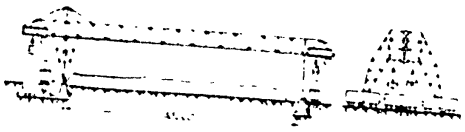


Рис 47 Портальный кран

склада В этом случае портальный кран выполняет лишь погрузочно-разгрузочные операции, а операции горизонтального перемещения выполняются транспортером Рабочим органом портального крана является раскрывающийся ковш, захватывающий топливо Раскрывающиеся ковши изготовляют емкостью от 1 до 3,5 т Длительность погрузочной операции 85 - 120 сек

Кабелькраны отличаются от портальных большей простотой, но более сложным управлением, мостовая ферма у них заменена стальным тросом, что дает возможность применить большие пролеты, а следовательно, увеличить ширину склада



Широко распространена механизация складов с помощью скреперных устройств (рис 48) Скрепер представляет собой ковш полковообразной или коробчатой формы, который перемещается по поверхности угля с помощью троса, прикрепленного

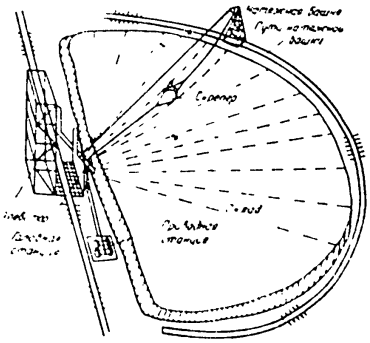



Рис 48 Скреперный склад

к передней его части Для возвращения в исходное положение к задней части скрепера прикреплен трос холостого хода

Расчет производительности скреперного устройства может быть выполнен после определения времени, необходимого на одну операцию которое находится по формуле

$$t_0 = \frac{R_{cp}}{w_p} + \frac{R_{cp}}{w_x} + t', \qquad (109)$$

где $R_{cp}$ — средний радиус действия скрепера, *м*,
$w_p$ — скорость рабочего хода, равная 1,5 *м/сек*,
$w_x$ — скорость холостого хода — 3 *м/сек*;
$t'$ — пауза между холостым и рабочим ходом при перемене направления вращения барабана лебедки, равная ~ 10 сек.

Число перемещений скрепера в час

$$n = \frac{3600}{t_0}.$$

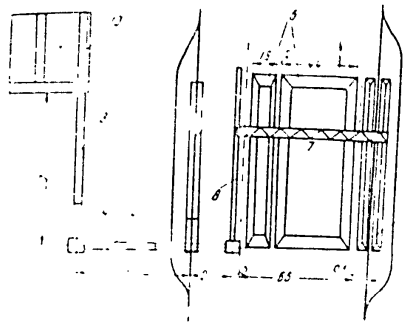


Рис 49 Схема угольного склада с портальным краном для станции 25 *млн т*

1 — разгрузочное устройство 2, 3 — эстакада ленточных транспортеров, 4 — дробильная установка 5 — разгрузочная эстакада склада 6 — склад угля на 4 тыс *т* мостовой грейферный кран 8 — ленточный транспортер 9 — котельная 10 — бункерная галерея

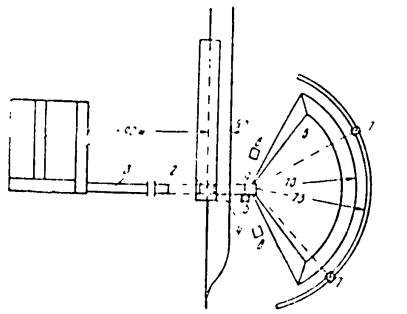
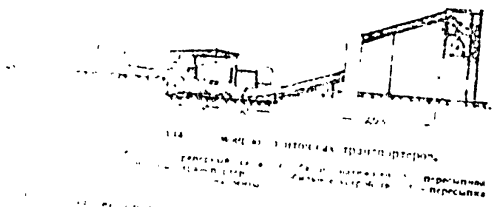


Рис 50 Схема угольного склада со скреперами для станции 25 *млн т*

1 — разгрузочное устройство 2 — приемные бункеры 3 — эстакада ленточных транспортеров 4 — то же на складе угля 5 — ковшовый элеватор 6 — склад угля на 4 000 *т* 7 — передвижные башни скреперной установки 8 — скреперные лебедки 9 — приемный бункер на складе





Ширину ленты принимают: для дробленого угля — 500 *мм*, для рядового угля — 600 *мм*, для кускового торфа — 900 *мм*, для фрезерного торфа — 600 *мм* (минимум)

Для транспортирования топлива на станциях малой мощности иногда применяют скиповый (наклонно поднимаемый ковш), или наклонный подъемник. Прочие типы транспортных устройств: ковшевые и пластинчатые транспортеры, ковшевые конвейеры и т д., не применяют, так как множество деталей и сложность ремонта доказали их непригодность и повышенную аварийность в эксплоатации

Учитывая, что нормальная работа станции зависит от надежного топливоснабжения, производительность транспортирующих устройств следует выбирать исходя из часовой нагрузки станции в максимум зимой при обеспечении стопроцентного резерва.

На тракте топливоподачи часто возникают очень серьезные неполадки при поступлении влажного или смерзшегося угля Уголь, потерявший сыпучие свойства, застревает в бункерах и течках, замазывает дробилки и мельницы, налипает на ленты транспортеров Даже при увеличении числа рабочих на топливоподаче, занятых очисткой и проталкиванием топлива, иногда невозможно обеспечить котельную топливом. Одним из наиболее радикальных способов предотвращения указанных неполадок является утепление и отопление всего тракта топливоподачи. Кроме того, необходимо на всех рукавах и течках соблюдать возможно большие углы наклона, делать рукава, если это возможно, расширяющимися по ходу топлива. На всех рукавах, корпусах мельниц и дробилок, а также в местах, где происходит пересыпание топлива с транспортера на транспортер, должны быть устроены закрывающиеся люки для чистки. При значительной влажности топлива (40% и выше) смерзание зимой бывает настолько стойким, что трудно восстановить сыпучие свойства угля. В этих случаях, по предложению Всесоюзного Теплотехнического института, рекомендуется устанавливать барабанные газовые сушилки.

Сушка угля осуществляется непосредственно топочными газами, температуру которых путем смешения с воздухом снижают до 700—900° Этим способом удается понизить влажность угля до 35% с начальной влажности 42%.

На теплосиловых установках, для которых принято сжигание топлива в пылевидном состоянии, неизбежным является сооружение растопочных устройств в виде муфельных горелок, а чаще в виде форсунок с использованием жидкого топлива — обычно парафинистого мазута. Организация сжигания мазута требует сооружения мазутохранилищ с разогревом мазута, специальных насосных и сети трубопроводов.

[illegible] пар 10—12 *ата*. Температура, при [illegible] жидкое состояние, колеблется в пре[illegible] мазута из цистерн разогрев его про[illegible] по специальным трубопроводам [illegible] метр сливного фронта вдоль железнодо[illegible] емкость слить 1 т мазута в час в зим[illegible] проектируется на одновременный [illegible] три

[illegible] обычно сооружают два бака емкостью [illegible] мазутонасосной размещается устройство для

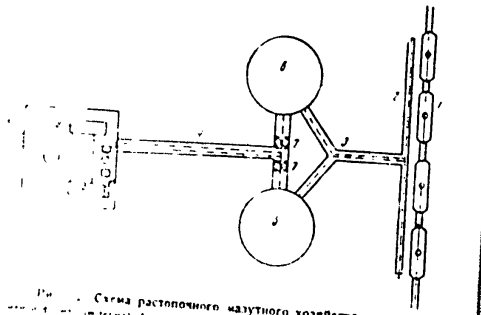


Рис. [illegible] Схема растопочного мазутного хозяйства

[illegible] паром. У котлов станции для растопки уста[illegible] форсунки с паровым распыливанием или с распы[illegible] давлением. Производительность растопочного [illegible] рассчитывается на одновременную растопку двух [illegible]

[illegible] на разогрев и перекачку сравнительно велик и [illegible] 120 *кг/час* на тонну мазута в зимнее время. Схе[illegible] устройств для слива, хранения и перекачки ма[illegible] на рис. 52.

[illegible] использовании газа в качестве топлива теплосиловой [illegible] следует учесть, что процесс образования доменного [illegible] печи или на коксовой батарее весьма неравно[illegible] является перерывы в работе печей,



[illegible]мена фурм, колебания в количестве вдуваемого воздуха в доменную печь и т. п. Расход газа также неравномерен, так как все его потребители — кауперы, котлы воздухо[illegible]дувной станции, мартеновские печи и нагревательные ко[illegible]лодцы, имеют переменный режим работы. Это заставляет иногда [illegible]ыток газа выпускать в атмосферу при невозможности его [illegible]использования, а в следующий момент считаться с недостатком газа, так как расход превосходит производство. Такое положе[illegible]ние требует аккумулирования газа.

В практике металлургических заводов избыток газа расхо[illegible]дуется так называемым буферным потребителем, каковым яв[illegible]ляется паросиловое хозяйство, путем перевода ряда топок в ко[illegible]тельной с обычного топлива на газ; в периоды недостатка газа [illegible]ти же топки переводят на обычно применяемое топливо.

Одним из способов аккумулирования газа в промышленности является накопление его излишков в газгольдерах. В этом на[illegible]правлении имели место попытки и в металлургической промыш[illegible]ленности, в частности на некоторых заводах Донбасса.

Газгольдер является регулятором не только количества, но и давления газа в сети. Это весьма важно, так как количество газа, вытекающего из горелки топки или металлургической печи, пропорционально корню квадратному из величины давления и если давление газа переменно, а поступающее количество воз[illegible]духа для сгорания постоянно, то условия сгорания могут зна[illegible]чительно ухудшиться.

Из двух типов газгольдеров — так называемых мокрых с водяным затвором и сухих — в климатических условиях севера следует предпочесть сухие.

Сухой газгольдер (рис. 53) представляет собой круглый или многоугольный бак, стоящий на фундаменте, без верхнего дни[illegible]ща. Бак перекрыт крышкой с вытяжным фонарем. Внутри бака по всему его сечению перемещается выпуклый кверху диск. Газ подводится снизу по трубе; так как между диском и стенкой газгольдера имеется зазор, через который может про[illegible]исходить утечка газа, то по окружности диска имеется особое уплотнение, состоящее из расположенных один над другим двух кожаных рукавов с полукруглым профилем из дубленой кожи. Внутренняя часть рукава закрыта железным кольцом, к кото[illegible]рому прикреплены болтами деревянные колодки. Кольцевое пространство между колодкой и кожей заполняют минеральным маслом под давлением из резервуара, находящегося на крыше диска.

Масло, медленно проходя сквозь поры кожи, поступает в сборные резервуары у днища газгольдера и, проходя через фильтр, снова нагнетается насосами в резервуар на крышке поршня. Суточная проницаемость масла для большого газголь-

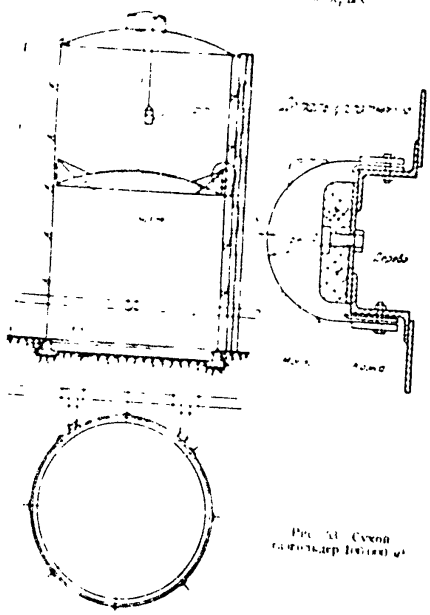


Рис. 41. Сухой газгольдер [illegible]

[illegible] значительную опасность в отно[illegible] смесь образуется при до[illegible] газгольдера или даже в газопровод, при[illegible] При первоначальном пуске газа в [illegible] необходимо всю систему продуть



инертным газом (дымом, азотом) Основные правила предотвращения аварий с газгольдером сводятся к следующему

1 Здание, где установлен газгольдер, должно иметь как можно большую поверхность окон и легкую конструкцию кровли, чтобы служить как бы предохранительными клапанами при взрыве

2. Надгазовое пространство, куда возможно просачивание газа и образование «бедной» взрывчатой смеси, должно быть обеспечено хорошей вентиляцией

3. Все электрооборудование и все приборы, дающие искру, должны быть смонтированы вне здания.

4 Расстояние между цехами завода и газгольдером должно быть особо согласовано с пожарной охраной.

5 Зимнее время здание газгольдера должно быть утеплено.

6. Уход за газгольдером должен поручаться только квалифицированному персоналу

7. Установка соответствующих контрольно-измерительных приборов обязательна, кроме того, должна быть обеспечена постоянная охрана газгольдера

## 5. Золоудаление

Правильное решение вопроса удаления золы из котельной, особенно для теплосиловых установок, работающих на низкосортных многозольных топливах, определяет безаварийную работу котельной, чистоту и здоровые условия труда на всей территории установки

Простейшая система золоудаления — ручная, широко применяется для станций малой мощности с выходом золы до 1 *т/час*.

Накопленную в золовом бункере котла золу периодически спускают в вагонетки емкостью 0,75—0,80 $м^3$. Для защиты персонала от ожога при выпуске золы и во избежание пожара и отравления воздуха в зольном помещении газами — вагонетки вкатывают перед заполнением в камеру, расположенную под золовым бункером и герметически запираемую. После открытия затвора у воронки и спуска золы в вагонетку золу заливают водой и затем вагонетку откатывают на золоотвал. Откатка может производиться вручную, конной или электровозной тягой Критерием допустимости ручного золоудаления служит количество зольщиков Часовую производительность зольщика принимают 350 *кг/час* В эту норму включены все операции (заполнение, заливка, откатка)

Слабым местом системы ручного золоудаления являются рельсовые пути, которые необходимо прокладывать с минимальным количеством стрелок, крестовин и поворотных кругов, обычно затрудняющих откатку

Рис 54 Смывной аппарат



Рис 55 Эжекционный аппарат низкого давления

[illegible]

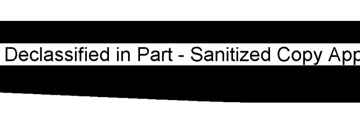


Рис 56 Золоотстойник

ных багер-насосов, а в последнее время центральным гидроаппаратом системы инж. Москалькова.

Впервые гидроаппарат сист. инж. Москалькова применен на крупных уральских электрических станциях. Гидроаппарат устанавливается для группы котлов и совмещает функции шлакодробилки и гидротранспортера.

Под шлаковыми бункерами котлов установлены шлакосмывные камеры, из которых шлак периодически смывается в каналы, ведущие к гидроаппарату. Смыв происходит, как обычно, помощью побудительных сопел.

Гидроаппарат (рис. 57) состоит из сопла *1*, дающего струю воды под давлением 18—20 *ат*, а в новом типе гидроаппарата до 70 *ат*; диффузора *2*, через который вода, смешанная с золой (пульпа), удаляется из аппарата; входной сменной части [illegible]

[illegible] Гидроаппарат [illegible] установлен в железобетонном приямке (рис. 58). Приемная шлаковая камера гидроаппарата [illegible] железобетонным бункером *1* [illegible] попадает [illegible] трубопроводом *2* [illegible] требует [illegible] замены каждые 1,5—2 месяца. Длительная проверка работы схемы золоудаления с гидроаппаратом показала его значительные преимущества в сравнении с другими схемами золоудаления.

Распространенным типом золоудаляющих устройств является высоконапорное золоудаление ЦКТИ. Схема его дана на рис. 59. Шлак и зола из золовой воронки попадают по рукаву в шлаковую дробилку, где раздробляются до [illegible] кусков диаметром 25—50 *мм*, после чего попадают в гидроаппарат, где струей воды под давлением 25—30 *ат* увлекаются в трубопровод. Непосредственная подача возможна на расстояние до 2 *км*. Скорость воды в трубах составляет 2—2,5 *м/сек*.

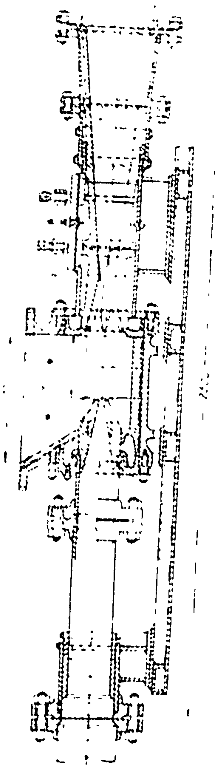


Рис 57 Гидроаппарат Москалькова

---

[1] Д. С. Жевахов

Золопроводы подвержены значительному износу, поэтому диаметр трубопровода принимают равным 125—200 *мм* с фланцевыми соединениями и прокладкой в проходных каналах, чтобы

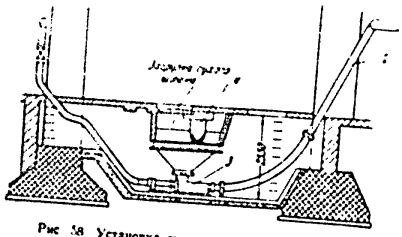


Рис 58 Установка гидроаппарата Мосальского

1 — бункер, 2 — трубопровод, 3 — гидроаппарат, 4 — шлаковый канал от котла

иметь возможность поворачивать трубы при одностороннем износе их Расход воды составляет от 4 до 10 $м^3/т$ золы, расход энергии — от 1,5 до 3,0 *квтч/т*. Смывной насос рассчитан на работу одновременно одного-двух аппаратов.

Снижение расхода воды на гидрозолоудаление является решающим фактором при определении возможности применения гидрозолоудаления в условиях ограниченных природных водных источников. Применение схемы с отстойником дает возможность возвратить до 90% воды, израсходованной на смыв золы, однако схемы с отстойником применимы, как ранее указывалось, в южных районах Союза.

Расход воды удается снизить также установлением графика смыва, т. е. последовательности опорожнения зольных воронок

Экономия воды в системе гидрозолоудаления является важным эксплоатационным мероприятием

Сточная вода из системы гидрозолоудаления не должна попадать в водоемы (реки, пруды, озера), так как в смывной воде содержится ряд вредных для здоровья людей и животных веществ

Другие сложные схемы золоудаления — гидропневматическая и с вакуум фильтром — применялись у нас в отдельных установках, но широкого распространения пока не получили

Пневматические схемы золоудаления применялись в СССР на некоторых крупных станциях, однако они были вытеснены

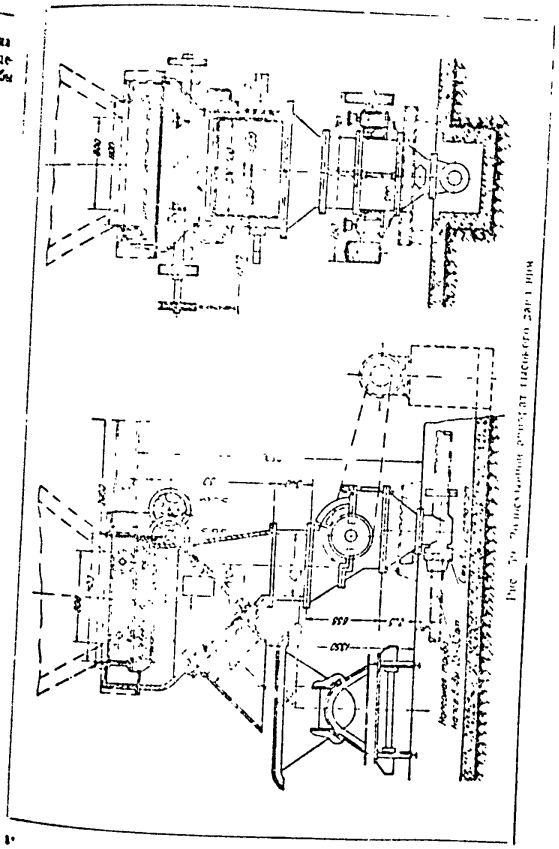


Рис 59 Пылесборный агрегат ПМБ-2

гидравлическими системами [illegible] Пневматическое золоудаление [illegible] средних установок в [illegible] чем результаты этих испытаний можно считать удачными

Большие перспективы имеет жидкое шлакоудаление

Жидкое шлакоудаление разрешает ряд вопросов по улучшению процесса сгорания повышает производительность устраняет шлакование топки и экраны улучшает шлакование шлаков, уменьшает унос в трубу при факельном процессе, улучшает самый процесс сгорания Тепловое напряжение топочного объема при жидком шлакоудалении достигает 300 000—500 000 *ккал/м³/ча*.

Основное требование при жидком шлакоудалении поддержание температуры в топке выше температуры плавления золы

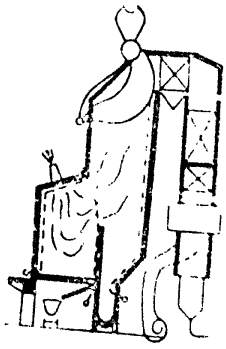


Рис 60 Топка с жидким шлакоудалением.

Жидкий шлак при этом стекает на дно — «под» топки в «шлаковую ванну», откуда его периодически спускают в смывной канал

На рис 60 показана топка с камерой для жидкого шлакоудаления Гранулирование жидкого шлака происходит с помощью струи воды, при этом получается так называемая шлаковая вата, так как шлак затвердевает в виде игл и нитей Шлаковая вата служит хорошим изоляционным материалом Шлак гранулированный в стоячей воде, дает зерна в форме пластинок и столбиков

Опыты, произведенные на некоторых установках, показали, что спуск шлака можно производить 1—2 раза в день, к п д котла в это время снижается на 0,3—0,4% За 10 мин может быть удалено до 4,5 *т* шлака

Жидкое шлакоудаление имеет также и отрицательные стороны, а именно топки, приспособленные к жидкому шлакоудалению, имеют большую тепловую инерцию, в случае разрыва кипятильной трубы повышается опасность ожогов людей при выбросе массы пара, образующейся из воды, попавшей из под с жидким шлаком В настоящее время можно считать, что



у нас в Союзе освоены топки с жидким шлакоудалением при сжигании углей с температурой плавления золы не свыше 1500°С Развитию и освоению топок с жидким шлакоудалением в СССР много способствовали работы стахановцев-рабочих и инженеров одной из ТЭЦ нашего Союза

## 6. Очистка дымовых газов и золоудаление

Современные методы сжигания топлива в пылевидном и взвешенном состоянии создают условия для большого уноса золы по газоходам в дымовую трубу Летучая зола, представляющая собой твердые частицы различной крупности, с одной стороны, изнашивает лопатки дымососов и кипятильные трубы котлов, выводя их из строя, с другой стороны загоняет местность и окружающий установку воздух Применение высокой дымовой трубы несколько ослабляет загрязнение местности вблизи установки. Борьба с износом дымососов возможна путем применения специальных золоулавливающих устройств Применяемые в настоящее время устройства для очистки газа от летучей золы могут быть разделены на три типа циклоны всех видов электрофильтры, мокрые золоуловители

Применение циклонов простого типа в настоящее время почти оставлено ввиду низкого коэффициента полезного действия Условимся к п д золоулавливающих устройств (коэфициент обеспыливания) принимать согласно выражению

$$\eta = \eta_{ц} = \frac{R_{ц} - R_{уц}}{R_{ц}} \cdot 100\% , \qquad (114)$$

где $R_{ц}, R_{уц}, R_{уг}$ — соответственно остаток золы на сите № 70 и газоходе, подводящем газ к циклону, унесенной в газоход и уловленной циклоном

Для обыкновенного циклона $\eta_{ц}$ 20% при сопротивлении циклона 30—40 *мм* вод ст Из числа циклонов иногда еще применяют циклоны типа *ЦЛ*, имеющие $\eta_{ц}$ 40% и сопротивление 50—60 *мм* вод ст

На рис 61 показан циклон конструкции ЦКТИ Д-30 Исследование работы циклонов показало, что к п д циклона зависит от центробежной силы

$$p = \frac{m w^2}{r}, \qquad (115)$$

где $m$ — масса частичек золы,
$w$ — скорость частиц, *м/сек*
$r$ — радиус циклона *м*

[illegible] уменьшением размера циклонов [illegible] а следовательно [illegible] газа, так [illegible] одном корпусе [illegible] малым радиусом. На рис. 62 показан общий вид такого мультициклона, представляющего собой группу циклонов [illegible] диаметра.

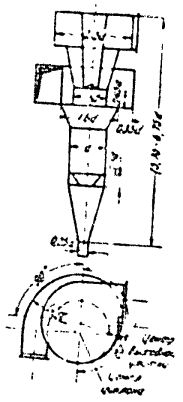


Рис. 61. [illegible] ЦКТИ

Рис. 62. Мультициклон

соединенных параллельно. Слева в разрезе видны отдельные малые циклоны, которые изготовляются литыми из чугуна. К.п.д. мультициклона [illegible] 76—88%, а сопротивление проходу газов равно 80 *мм* вод. ст. Этот тип золоуловителя в настоящее время является наиболее распространенным благодаря своей простоте и неприхотливости при обслуживании и ремонте.

Лишь в редких случаях, когда теплоизоляция установка расположена в центре или в непосредственной близости от жилых поселков, применяются электрофильтры, работа которых основана на явлении ионизации пространства для прохода газов путем пропускания постоянного тока при напряжении 75 000 *в* через сетки или электроды, расположенные в потоке газа. Коэффициент полезного действия электрофильтра зависит от скорости газа, протекающего через электрофильтр.



| Скорость, *м/сек* | 1,1 | 5,0 | 6,4 | 7,5 | 8,2 |
|---|---|---|---|---|---|
| К.п.д., % | 98,5 | 97,5 | 84,0 | 74,1 | 61,0 |

Практический к.п.д. электрофильтра 90—95%. Сопротивление электрофильтра 7—20 *мм* вод. ст. Скорость газов в электрофильтре 2—3 *м/сек*.

Электрофильтры требуют установки специального выпрямительного устройства для превращения переменного тока в постоянный. Расход энергии на питание электрофильтра составляет 0,1—0,11 *квтч* на 1000 $м^3$ газа. Так как для эффективной работы электрофильтра необходимы малые скорости газа, то сечение газоходов достигает значительных размеров и самый электрофильтр превращается во внушительное сооружение, близкое по размерам к паровому котлу (рис. 63). Электрофильтр весьма сложен в эксплоатации и к установке его прибегают в крайнем случае.

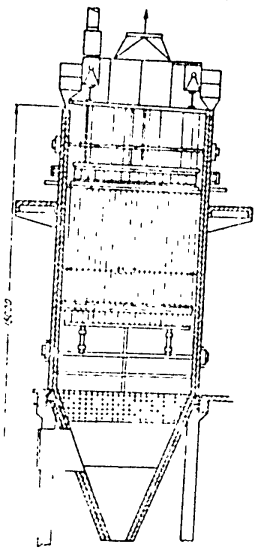


Рис. 63. Электрофильтр

Одним из видов еще мало распространенного золоуловителя является мокрый золоуловитель. На рис. 64 показана одна из конструкций мокрого золоуловителя. Поперек потока газа расположены чугунные звездообразной формы в сечении элементы, омываемые водой. Газ, ударяясь о жидкую пленку стекающей воды, теряет твердые частицы, которые уносятся водой в нижний сборник.

К.п.д. золоуловителя зависит от числа рядов элементов по ходу газа и равен примерно 89—90%. Сопротивление проходу газа около 16—20 *мм* вод. ст. Расход воды практически равен количеству произведенного котлом пара. При этом способе не

[illegible] увлажненным [illegible]

[illegible] в пределах 0 [illegible]

Одновременно с мокрым [illegible] сгущивания, [illegible] серистые [illegible]

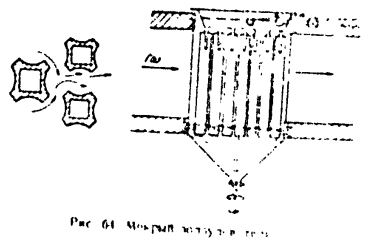


Рис 64 Мокрый [illegible]

в дымовых газах, с водой дает весьма активную сернистую кислоту, разрушающе действующую на металлические поверхности

Установки для улавливания серы из дымовых газов довольно сложны

В Всесоюзном Теплотехническом институте разработана и на одной из ГРЭС, испытана установка для очистки газов от сернистого ангидрида по известковому способу с одновременным получением вяжущего строительного материала Степень очистки газов от серы при этом способе составляет 98—99%

## 7 Водоснабжение теплосиловых установок

Расход воды для паросиловой установки с паровыми турбинами в основном зависит от количества воды необходимого для конденсации пара в конденсаторе

Количество воды для конденсации пара $W_к$ кг/час может быть определено по формуле (92)

$$D_к(i_2 - t_1) = W_к(t - t_1),$$

где $D$ — расход пара через конденсатор, кг/ч,

$i_2$ — теплосодержание пара при входе в конденсатор,

$t$ — температура конденсата (теплоемкость конденсата принята равной единице)

$t_1$ — температура воды входящей в конденсатор для охлаждения



$t_2$ — температура воды, выходящей из конденсатора (обычно следует полагать $t = t_2 + 8$),

$i_2 - t_1 = 520$ ккал/кг при вакууме 95%

Тогда

$$\frac{W_к}{D_к} = \frac{520}{8} = 65$$

Для разных значений $t_1, t_2, t, i_2$ величина $\frac{W_к}{D_к}$ может колебаться в пределах 60—120

Для охлаждения генератора турбинного масла и подшипников расход воды составляет

$$W = (5 - 10)D$$

где $D$ — полный расход пара установкой

Добавка воды для питания котлов

$$W_{пит} = (0,03 - 0,1)D$$

Расход воды на гидрооолоудаление

$$W_{г.о.} = (0,1 - 0,3)D$$

Добавки воды в систему теплофикации для компенсации утечек

$$W_т = (0,5 - 1)D_т,$$

где $D_т$ — расход пара на теплофикацию

Наконец, потребность воды на бытовые и хозяйственные нужды

$$W_х = (0,01 - 0,1)D$$

Таким образом полный расход воды

$$W = W_к + W_{г.о.} + W_{пит} + W_{г.о.} + W_т + W_х$$

$$(60 - 120)D_к + (5,14 - 10,6)D + (0,5 - 1,0)D_т. \qquad (116)$$

Для станций с двигателями внутреннего сгорания основной расход воды зависит от количества, необходимого для охлаждения фильтров головок поршней масла и компрессоров Для дизелей мощностью 50—800 л с, построенных нашими заводами, расход воды составляет 15—20 л/л с ч при начальной температуре воды $t = 10—15°C$

Для газовых двигателей, работающих на коксовом и доменном газах расход воды составляет от 30 до 40 л/л с ч

На установок с локомобилями, в зависимости от типа и мощности локомобиля расход воды можно принять в соответствии с данными табл 15

Таблица [illegible]

**Расход воды локомобилями**

| Тип локомобиля | Мощность, л. с. | Расход воды на 1 л. с. в сутки, л | Расход воды на 1 л. с. в сутки, л |
|---|---|---|---|
| ЛМ V | [illegible] | [illegible] | [illegible] |
| ЛМ VII | [illegible] | [illegible] | [illegible] |
| ЛМ VIII | [illegible] | [illegible] | [illegible] |
| ЛМ X | [illegible] | [illegible] | [illegible] |

Локомобили, как видно из таблицы, при [illegible] конденсаторе имеют кратность охлаждения около 30. Для всех типов установок следует учесть расход воды на хозяйственные нужды в количестве 25 л на каждого работающего в смену и 40 л — на каждого пользующегося душем.

При наличии поселка при теплосиловой установке принимают расход воды 125 л на жителя в сутки.

Решающее влияние на выбор системы водоснабжения оказывает характеристика и местоположение источника водных ресурсов. Расчеты и опыт эксплоатации показали, что расстояние до источника водоснабжения в 1 км при высоте на [illegible] 10 м является пределом, при котором еще возможно применение прямоточного водоснабжения, т. е. такого, когда все необходимое количество воды забирается непосредственно из источника, например реки, и после прохода через конденсаторы снова сбрасывается в реку. Такая схема возможна лишь при условии, когда количество воды источника в 3—4 раза превосходит количество воды, необходимое для работы теплосиловой установки. Сброс отработанной воды в реку осуществляется ниже точки забора, чтобы теплая вода не попадала снова в приемный канал. Если колебание горизонта в водоеме не настолько велико, подвод воды может быть осуществлен закрытым каналом к машинному залу, а циркуляционные насосы установлены в машинном зале (рис. 65).

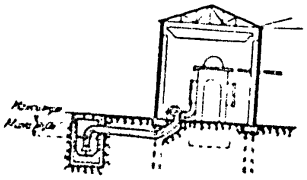



Рис. 65. Установка циркуляционных насосов в машинном зале

Реки СССР, особенно крупнейшие из них, Волга, Обь, Урал, Днепр, Дон и др., испытывают в течение года колебания горизонта воды примерно 5—8 м, которое зависит от притока вод при таянии снегов в пойме рек и количества осадков в летние и осенние периоды. При таких условиях установка насосов в машинном зале потребовала бы их заглубления, а глубина заложения приточного канала достигла бы 7—8 м. В этих случаях насосы устанавливают в специальной береговой насосной, где возможно их расположение ниже горизонта наивысших вод (рис. 66).



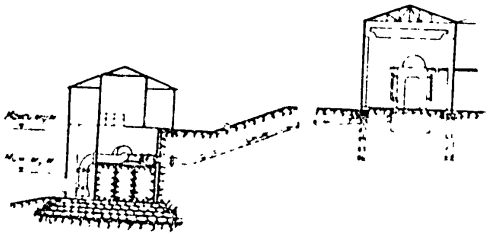



Рис. 66. Схема водоснабжения с береговой насосной

Насосы следует располагать в береговой насосной на таком уровне, чтобы в летнее время при наинизшем горизонте высота всасывания не превосходила 4 м. Перед всасывающим патрубком насосов устраиваются специальные сетки для задержания крупных частиц, которые плавают на поверхности воды или находятся во взвешенном состоянии (корье, щепа, водоросли, рыба). Известны случаи забивания сеток мелким льдом («шугой»). В этом случае полезно к сеткам подвести некоторое количество теплой отходящей воды из сливного трубопровода. Сетки делают съемными, а иногда вращающимися для облегчения очистки.

Трубопровод охлаждающей воды должен быть спроектирован с применением сифона, т. е. с устройством на сбросной линии колодца, в который погружена сливная труба конденсатора с выходом под горизонт воды. Это дает значительную экономию в расходе энергии насосами. Необходимо предусмотреть устройство порога на сбросных каналах, чтобы осуществить замер количества воды в процессе эксплоатации.

Когда источником водоснабжения служит пруд или озеро, т. е. замкнутый водоем, необходимо проверить, достаточна ли площадь зеркала для охлаждения воды. Опытом установлено, что на каждый установленный киловатт теплосиловой установки

необходимо иметь запасы [illegible] от 5 [illegible] 10 м³. Кроме того необходимо, чтобы [illegible] воды в пруд был [illegible] или равен сумме испаренной воды с естественной фильтрацией и безвозвратным потерям технической установки.

Если водоем имеет профиль, не обеспечивающий распределения воды по температурам, необходимо сооружать искусственные сооружения в виде плотин [illegible] рядов для того, чтобы удлинить путь воды от места сброса к месту забора.

При недостаточном количестве естественных вод или приотдаленном расположении водных бассейнов применяется циркуляционная схема, при которой сбросная вода охлаждается и затем снова поступает в конденсатор.

Охлаждающие устройства бывают двух типов — градирни и брызгальные бассейны. Оба типа устройств предоставляют возможности разбить массу воды, увеличив поверхность ее соприкосновения с воздухом. В градирнях это достигается разливом воды по решетникам, многократно расположенным рядам деревянных реек (при капельной градирни) или по плоским вертикальным стенкам (пленочные градирни).

Весьма важной характеристикой градирни является плотность орошения

$$q = \frac{B}{F} \ м^3/м^2 \qquad (117)$$

т. е. количество куб. метров воды, приходящееся в час на 1 м² горизонтальной проекции решетника.

Величина плотности орошения зависит не только от конструкции градирни, но и от климатических условий местности. Кроме того, на величину плотности орошения влияет стоимость тонны пара, так как при высокой стоимости пара необходима его максимальная экономия, т. е. углубление вакуума, что достигается путем снижения температуры поступающей в конденсатор воды. Это снижение возможно при уменьшении плотности орошения, т. е. увеличения поверхности решетника. Естественно, что при этом размеры градирни, а следовательно и ее стоимость возрастают.

Приток воздуха к градирням может быть осуществлен двумя способами.

В обычных капельных и пленочных градирнях вытяжная шахта над решетником является вытяжной трубой, с помощью которой нагретый за счет тепла циркуляционной воды воздух покидает градирню, а на его место под решетник поступают массы холодного воздуха.

Функцию вытяжной шахты может выполнять один или несколько вентиляторов пропеллерного типа. При такой искусственной тяге необходимо считаться с расходом энергии на



привод вентиляторов. Так как при этом плотность орошения увеличивается, то размеры градирни резко сокращаются.

В табл. 19 приведена сравнительная средняя плотность орошения градирен различного типа.

Таблица 19

**Плотность орошения градирен различных типов**

| Конструкция градирни | Плотность орошения м³/м² |
|---|---|
| Капельная с естественной тягой | 2—3 |
| » с искусственной | 5—8 |
| Пленочная с естественной | 5—8 |
| » с искусственной | 10—12 |

Размеры капельных градирен типа «Котлогурбина» приведены на рис. 67. Испарение воды и унос мелких капель ветром вызывают потери в градирне, достигающие 2—4%, это количество воды должно быть компенсировано из постороннего источника. Расстояние градирен от соседних зданий должно быть не менее 60 м, чтобы избежать обледенения зданий в зимнее время.

Наряду с градирнями применяются в качестве охладителей брызгальные бассейны. Основным элементом брызгальных бассейнов являются специальные сопла, разбрызгивающие воду. Форма образующегося водяного факела напоминает зонтик. Сопла устанавливаются пучками, по 2—4 сопла в пучке. Напор у сопел для успешного разбрызгивания должен быть 5 м вод. ст.

Для обычно применяемых разбрызгивающих сопел центробежного типа производительность одного сопла равна 6—9 м³/час. Плотность орошения для брызгальных бассейнов составляет 1,12—1,56 м³/м². Ширину брызгального бассейна для хорошего обдувания ветром следует принимать не свыше 60 м. По длине брызгального бассейна предусматриваются воздушные коридоры шириной 1,3—1,7 м. В средней части бассейна необходимо делать проход шириной 15—20 м без установки в нем сопел. На рис. 68 показан продольный разрез и план брызгального бассейна. Глубина брызгального бассейна 1,0—1,5 м.

Ряд условий ограничивает область применения брызгальных бассейнов. Так как единственным средством вентиляции брызгальных бассейнов является ветер, то для хорошего обдувания бассейны следует располагать на открытой или возвышенной площадке. Напор, создаваемый у сопел, сказывается на увеличении мощности циркуляционных насосов.

При постройке брызгального бассейна необходимо учитывать местные грунтовые условия и возможную фильтрацию воды

через дно, которое должно быть выполнено водонепроницаемым. Устройство брызгал упрощается, если вблизи станции имеется водоем. В этом случае брызгала могут быть расположены на озере или пруде, который будет служить естественным брызгальным бассейном.

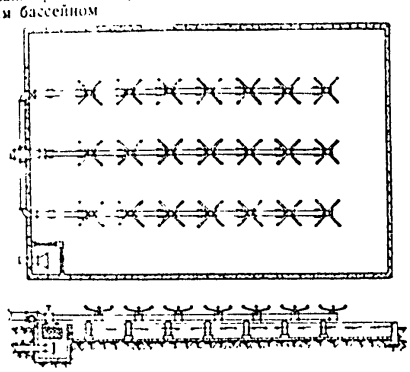


Рис. 68. Брызгальный бассейн

Площадь, занимаемая брызгальными бассейнами, значительно больше площади, необходимой для расположения градирен. Так, например, для теплосиловой установки в 25 *мегат* площадь, необходимая для варианта с градирнями, составляет 1220 *м*², а для варианта с брызгальным бассейном — 4700 *м*².

Потери воды в брызгальных бассейнах от уноса и испарения составляют около 4,5%, т. е. несколько выше, чем в градирне.

Ввиду испарения части воды, в градирнях и брызгальных бассейнах повышается концентрация солей, что может повести к отложениям солей на трубках конденсаторов турбин и рубашках цилиндров двигателей внутреннего сгорания. Поэтому градирни и брызгала нуждаются в периодической продувке (спуске части воды) и подпитке умягченной водой.

В системе водоснабжения создаются благоприятные условия для роста микроорганизмов и низших животных. Микроорганизмы размножаются, и их трупы и выделения образуют пленку на трубках конденсатора и рубашках цилиндров, ухудшающую теплопередачу, а следовательно, и вакуум, что ведет к перерасходу пара и топлива. Эффективным способом борьбы с микро-

организмами является периодическое хлорирование охлаждающей воды с поддержанием концентрации хлора 0,02—1,0 мг/л.

## 8. Система питания котлов теплосиловых установок

Под системой питания паровых котлов понимают совокупность насосов, трубопроводов и баков, имеющих назначение снабжать котлы питательной водой. Эти устройства являются ответственнейшим элементом теплосиловой установки.

Питательные устройства должны обеспечить непрерывную подачу воды в котел, надежность питания и отсутствие кислорода в питательной воде.

По существующим правилам техники безопасности все паровые котлы поверхностью нагрева больше 5 м² работающие при давлении более 6 *ата* и производительностью более 100 *кг/час* должны быть снабжены не менее, чем двумя питательными приборами, причем один из них должен иметь паровой привод.

Каждый питательный прибор должен обеспечить полуторную максимально длительную производительность установленных котлов. При установке трех и более питательных приборов суммарная производительность их должна быть такой, чтобы:

а) при временном выходе из строя самого мощного прибора суммарная производительность остальных составляла не менее 1,2 максимально длительной производительности всех установленных котлов;

б) суммарная производительность приборов с паровым приводом была не менее 1,2 максимально длительной производительности всех установленных котлов.

Для водотрубных котлов электрических станций суммарная производительность всех насосов с электроприводом должна быть такой, чтобы при выходе из строя самого мощного из них была обеспечена суммарная максимальная длительная производительность всех установленных котлов с учетом их продувки.

Суммарная производительность насосов с паровым приводом должна быть не меньше суммарной максимально длительной производительности всех установленных котлов с учетом продувки, причем насосов этих должно быть не менее двух.

Для электростанций, работающих в системе при камерном (пылевидном) сжигании топлива, допускается снижение производительности насосов с паровым приводом, но не менее чем до 50% суммарной максимально длительной производительности всех установленных котлов с учетом продувки.

Для обеспечения равномерного питания применяются специальные регуляторы питания. Для котлов, имеющих производительность более 40—50 *т* пара в час, питание производится одновременно через две питательных головки, причем, считая по



ходу воды у питательной головки установлены следующие приборы: водомер для измерения расхода питательной воды, регулятор питания, обратный клапан, ручная задвижка или вентиль.

Для предохранения питательной воды от насыщения газами современные системы питания теплосиловых установок применяются закрытого типа (рис. 69) с деаэратором. Обычно принята двухлинейная схема (рис. 70) питания. В схеме предусмотрено резервирование всех агрегатов и возможность выключения для ремонта любого участка без нарушения нормальной работы установки.

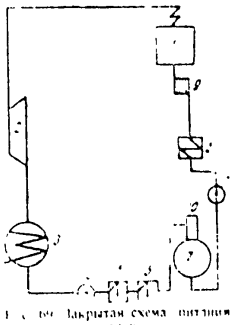


Рис. 69. Закрытая схема питания котлов

[illegible] — турбина, [illegible] — конденсатор, [illegible] — конденсатный насос, [illegible] — подогреватель, [illegible] — деаэратор, [illegible] — питательный насос, [illegible] — водомер.

Для удобства эксплуатации питательные трубопроводы воды окрашивают в зеленый цвет, трубопроводы химически очищенной воды — в зеленый цвет с белыми кольцами, конденсатопроводы — в зеленый цвет с черными кольцами.

Всасывание горячей воды насосом сопровождается парообразованием во всасывающем патрубке, что часто приводит к срыву подачи.

Для работы питательного насоса на горячей воде необходимо создать подпор во всасывающем патрубке, что может быть достигнуто путем установки питательного бака или деаэратора выше насоса.

Высота подпора в зависимости от температуры:

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Температура питательной воды, °С | 80 | 90 | 100 | 110 | 120 |
| Высота подпора, м | 2 | 4 | 6 | 11 | 17,5 |

Мощность питательного насоса может быть определена по следующей формуле:

$$N = \frac{\gamma Q(10P + H)0{,}75}{3600 \cdot 75 \cdot \eta_{н}}, \quad (7,8)$$

где $Q$ — производительность насоса, *м³/час*;

$\gamma$ — удельный вес воды данной температуры, равный приблизительно 1000 *кг/м³*;

$P$ — давление в котле, *кг/см²*;

$H = h_1 + h_2 + h_3$, *м*;

где [illegible] геодезический напор (расстояние по вертикали от на[illegible] уровня в трубка до питательной головки) м

[illegible] сопротивление трубопровода

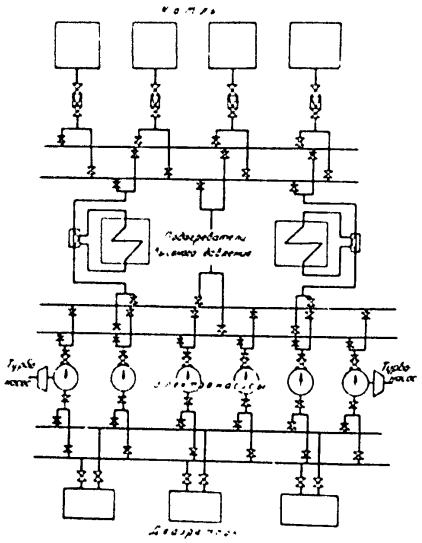



Рис. 70. Схема питательных трубопроводов электростанций средней и большой мощности

$h_a$ — избыточное давление, равное 1—2 *ат* (10—20 *м*),

$\eta_н$ — к. п. д. насоса, для центробежных насосов $\eta_н = 0{,}72$, для поршневых $\eta_н = 0{,}9$, для небольших насосов $\eta_н = 0{,}6—0{,}7$

Запас питательной воды в баках должен обеспечить работу теплосиловой установки при полной нагрузке в течение часа; для мощных установок этот запас может быть доведен до [illegible] часового



## 9. Главные паропроводы теплосиловой установки

Назначение паропроводов — связывать между собой отдельные элементы установки, а поэтому от правильной их работы зависит надежность всей установки.

Паропроводы должны удовлетворять следующим требованиям:

а) быть экономичными, т. е. иметь минимальные потери тепла и давления, обладать высоким к. п. д.;

б) обладать резервом, достаточным для того, чтобы в случае аварии поврежденное место было изолировано, а работа теплосиловой установки не была нарушена;

г) начальная стоимость паропровода должна быть минимальной, равно как и ежегодные эксплоатационные расходы (ремонт, обслуживание и т. п.);

в) обладать простотой и доступностью для осмотра, чтобы свести к минимуму возможные ошибки эксплоатационного персонала.

В целях повышения экономичности необходимо стремиться к уменьшению всякого рода сопротивлений в паропроводах, а также их длины. Уменьшение длины одновременно снижает потери тепла паропроводом во внешнюю среду.

Ввиду сложности нахождения наиболее выгодной схемы паропроводов, в зависимости от условий и требований надежности установки, предложен целый ряд схем.

Простейшей схемой является так называемая одинарная (рис. 71).

Схема дает возможность подать пар от любого котла к любой турбине. На паропроводе имеется только две задвижки большого диаметра, служащие для разделения всей схемы на две части в случае аварии. Однако простота схемы имеет свои отрицательные стороны, вызывая выход из строя двух котлов и одной турбины в случае повреждения одинарной линии паропровода.

Более надежна так называемая кольцевая схема (рис. 72). Отключение любого участка возможно с сохранением работы всех котлов и турбин, однако такая схема связана со значительными капиталовложениями. На главном паропроводе установлено шесть задвижек большого диаметра. Число задвижек вообще велико, что повышает число аварийных мест. Длина паропровода неизбежно ведет к повышенным потерям тепла и давления.

Эта схема более подходит для двухрядных котельных.

Часто употребительна схема двойного паропровода (рис 73) Она отличается большей гибкостью и надежностью

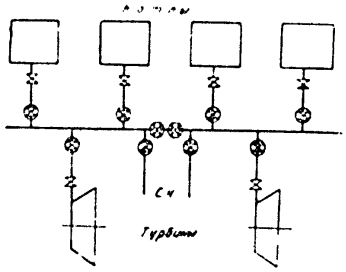



Рис 71 Одинарная схема паропроводов

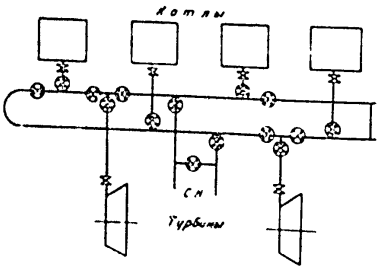



Рис 72. Кольцевая схема паропроводов

На главном паропроводе совершенно отсутствуют задвижки. При любых вариантах повреждений одной из главных линий паропровода работа агрегатов обеспечивается второй линией при повышенных скоростях пара в этой линии Отрицательным является значительная длина паропровода, а следовательно, и высокая



стоимость его и большая потеря тепла в окружающее пространство. Количество задвижек, хотя и небольшого диаметра, значи-

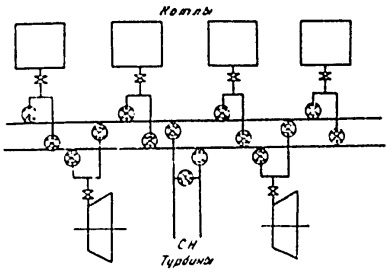



Рис 73 Двойная схема паропроводов.

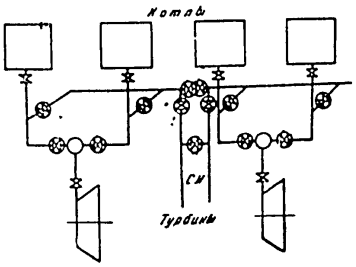



Рис 74 Схема с переключательным паропроводом

тельно. Схема допускает легкое расширение путем установки дополнительных агрегатов.

Более дешева и проста схема с переключательным паропроводом (рис. 74), дающая возможность любых комбинаций агрегатов и достаточно гибкая при аварии в любой

точке Преимуществом схемы является малый диаметр паропроводов, соответствующий пропускной способности только одного котла и сравнительно небольшое количество задвижек Недостаток этой схемы — наличие сборников

Падение давления в системе паропроводов не должно превосходить между наиболее удаленными котлами и турбиной 1 *ат*

Допускаемые скорости пара для паропроводов насыщенного пара — 20—30 *м/сек*, для перегретого до 350 и выше при *p* 20 *ата* — 50—80 *м/сек* при *p* > 20 *ата* — 40 50 *м/сек*

В аварийных случаях допускается скорость до 100 *м/сек*

Подробно вопросы расчета паропроводов см гл VII

## 10 Собственные нужды теплосиловых установок

Теплосиловая установка вырабатывая электроэнергию и тепло, в то же время является потребителем этой электроэнергии и тепла на технологические и хозяйственные нужды производства

Все механизмы, потребляющие энергию на станции можно разбить на три группы

1 Ответственные механизмы остановка которых вызывает немедленную остановку станции или же снижение ее мощности (циркуляционные, конденсатные и питательные насосы, дымососы, вентиляторы, мельницы при отсутствии промежуточного бункера для пыли и т п)

2 Механизмы, остановка которых может повлечь за собой снижение мощности при длительном их простое (краны, дробилки, транспортеры, мельницы при устройствах с промежуточным пылевым бункером, нефтенасосы и т д.)

3 Механизмы, не связанные непосредственно с процессом (подъемные краны, лифты, компрессоры металлообрабатывающие станки, пожарные насосы и т д)

Первая группа должна обладать полной надежностью и достаточным резервом Так как снижение расхода на собственные нужды повышает экономичность станций, то при выборе механизмов и двигателей к ним необходимо тщательно подбирать мощность и производительность

Механизмы надо выбирать наиболее экономичные, например ленточные транспортеры, дающие минимальный расход энергии на 1 *т* поданного угля, дымососы с регулированием числа оборотов и т п Электрическая схема питания механизмов для собственных нужд должна обеспечить максимальную надежность и быстрое обратное включение в случае перебоев в подаче энергии



Некоторые механизмы для надежности имеют резервный паротурбинный привод, например питательные насосы, циркуляционные и конденсатные насосы при изолированных станциях, когда для начального запуска станции не может быть получено энергии со стороны

Для обеспечения собственных нужд устанавливают иногда, особенно при изолированных установках, отдельные турбины небольшой мощности с возможностью их запуска на выхлоп без конденсационного устройства

Удельный вес отдельных потребителей к общему расходу электроэнергии на собственные нужды дан в табл 17

Таблица 17

**Удельный вес отдельных потребителей электроэнергии на собственные нужды (в процентах)**

| Тип станции \ Потребитель | Подача топлива | Топливоприготовление | Тяга и дутье | Питание котлов | Циркуляционные насосы | Теплофикационные насосы | Прочие потребители | Всего |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Мазутные ГЭС | 0,35 | — | 17,1 | 38,20 | 40,80 | — | 3,55 | 100 |
| Торфяные | 9,00 | 1,96 | 41,5 | 16,73 | 21 10 | — | 13,69 | 100 |
| Угольные конденсационные | 1 41 | 2,82 | 20,2 | 8 45 | 45,02 | — | 22,10 | 100 |
| Пылеугольные конденсационные | 1,30 | 29,80 | 19,7 | 14,00 | 22,20 | — | 13,05 | 100 |
| Угольная ТЭЦ | 1,33 | 1,76 | 32,0 | 13,10 | 16,50 | 26,7 | 8,90 | 100 |
| Пылеугольная ТЭЦ | 0,80 | 28 00 | 21 5 | 9,50 | 19 90 | 8,5 | 12,15 | 100 |

Из данных табл 17 видно, что самыми крупными потребителями являются циркуляционные и питательные насосы и уголь-

Таблица 18

**Удельный расход электроэнергии на собственные нужды**

| Тип станции | Хранение и подача топлива *квт ч/т* | Топливоприготовление *квт ч/т* | Тяга и дутье *квт ч/т* пара | Питательные насосы *квт ч/т* пара | Циркуляционные насосы *квт ч*, % от выработки | Теплофикационные насосы *квт ч/гкал* | Прочие % от выработки | Суммарно % от выработки |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Мазутные | 0,62 | — | 2,37 | 1,63 | 2,22 | — | 0,37 | 4,6 |
| Торфяные | 0,68 | 1,45 | 4,33 | 1,96 | 1,3 | 16 | 0,77 | 5,62 |
| Угольные | 1,07 | 3,88 | 3,03 | 1,59 | 2,6 | 5,28 | 1,32 | 6 8 |
| Пылеугольные | 1,17 | 31.4 | 3,32 | 1,97 | 1,9 | 11,68 | 1,16 | 8,06 |

[illegible] собственные нужды на [illegible] тип станция [illegible] собственные нужды [illegible]

## 11 Компоновка теплосиловых установок

Под термином компоновка [illegible] размещение оборудования и [illegible] теплосиловых установок.

Изменение [illegible] оборудования [illegible] непрерывным его совершенствованием [illegible] изменение конфигурации станционных [illegible] оборудования. Из [illegible] следует, что компоновка [illegible] теплосиловой установки не является [illegible] установленной и для каждого конкретного случая [illegible] фактором а) типа станций — конденсационная или ТЭЦ б) мощности станций, в) района строительства [illegible] технологии теплового процесса станции и т д

В настоящее время [illegible] распространенной является компоновка с параллельным расположением котельной и машинного зала (рис 75) Такое расположение обеспечивает выполнение основных требований предъявляемых к рациональной компоновке а именно строительные работы обходятся дешевле так как котельная и машинный зал имеют одну общую стену, котельная и машинный зал достаточно хорошо освещены естественным светом, трубопроводы короткие и схема их проста, расширение станции легко осуществимо При компоновке по

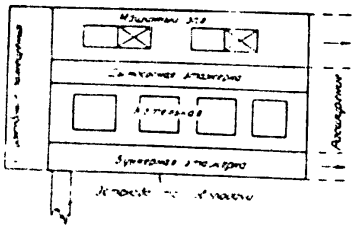



Рис 75 Тип [illegible] компоновка ТЭЦ



принципу блоков «котел—турбина» или «два котла—турбина», можно добиться одинаковой длины котельной и машинного зала

Двухрядная котельная и перпендикулярное расположение котельной и машинного зала в современных условиях потеряло свое значение и в настоящее время нерационально

Расположение турбогенераторов в машинном зале при блоках «два котла - турбина», как правило, принято по оси машинного зала причем возможны варианты расположения турбогенераторов в кильватер («гусем»), т е когда турбогенераторы

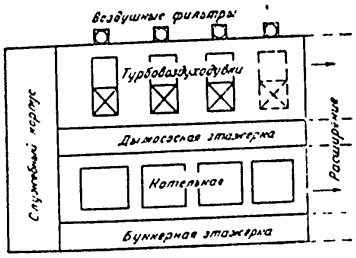



Рис 76 Компоновка турбовоздуходувной станции.

обращены паровыми частями в одном направлении, и расположение, при котором они обращены паровыми частями друг к другу. Как одно, так и другое расположение приемлемы. Расположение в кильватер создает большее однообразие в компоновке отдельных агрегатов

Расположение турбогенераторов, особенно небольшой мощности, перпендикулярное оси машинного зала при блоках «котел—турбина», вполне себя оправдывает. Увеличивая ширину машинного зала, что сказывается на стоимости фермы перекрытия и мостового крана в машинном зале, эта компоновка дает большую компактность и простую схему

Компоновка турбовоздуходувных станций обычно принята с расположением агрегатов перпендикулярно оси машинного зала (рис 76) Вспомогательное оборудование теплосиловой установки может размещаться в двух «этажерках» — дымососной и бункерной

Теплофикационное оборудование — бойлеры и сетевые насосы — на ТЭЦ располагают на фронте машинного зала для удобства обслуживания краном Топливоподача при параллельном

[illegible] мобилизуется [illegible] часть здания [illegible] отличие от времени [illegible] дробления

Распределительное устройство [illegible] как правило выделяется в отдельные [illegible] расположенные параллельно машинному залу станции

Распределительное устройство собственных нужд располагают в дном из этажей длинного коридора При станциях не

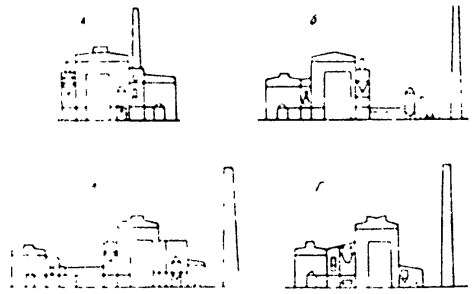


Рис 77 Современные компоновки ГРЭС и ГРК

большой мощности водоподготовительное устройство может быть расположено в этажерке между котельной и машинным залом При станциях большой мощности водоподготовительное устройство помещают в отдельном здании

Новые идеи в области очистки дымовых газов предусматривают улавливание как твердых частиц так и сернистого ангидрида при использовании топлив содержащих серу а также повышение давления пара в установках оказали значительное влияние на компоновку

На рис 77 даны основные типы современных компоновок

**Тип А** является наиболее распространенной компоновкой небольших станций Котельная имеет открытый фронт для размещения топливных бункеров и мельниц Фронт котлов освещен естественным светом Наличие дымососной этажерки не позволяет развивать газоочистные сооружения кроме предусмотренных электрофильтра или мультициклона Дымососы подня

[illegible] на третий этаж этажерки Дымовые трубы металлические Машинный зал примыкает к дымососной этажерке, на которой установлены деаэраторы и в первом этаже питательные насосы

На рис 78 вариант А дан в несколько детализированном виде с указанием некоторых размеров для котлов производительностью 60 75 т пара в час и турбогенераторов 12 мегаватт

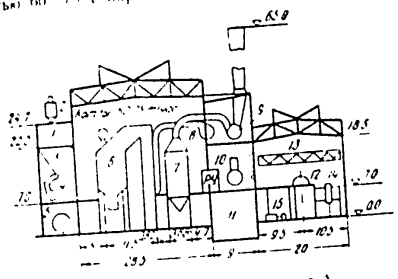


Рис 78 Вариант компоновки типа А

[illegible] 2 — циклон 3 — бункер сырого топлива 4 — вентилятор первичного воздуха 5 — шаровые мельницы 6 — котел 7 — вентилятор вторичного воздуха 9 — дымосос 10 — электрофильтр [illegible] 12 — турбогенератор 13 — распределительное устройство [illegible] 15 — питательные насосы [illegible] 11 — бойлер [illegible]

**Тип Б** Котельная имеет открытый фронт для размещения топливных газоочистных и тяговых устройств Этим самым дымососная этажерка снижается и превращается в деаэраторную этажерку Электрофильтры и мультициклоны размещаются отдельно от котельной при отдельно стоящей дымовой трубе на открытом воздухе Дымососы установлены в особом здании на уровне планировочной отметки площадки Расположение газоочистных устройств позволяет развить их с переходом к сероулавливающей установке Такой вариант компоновки может быть назван полуразорванным в отличие от типа В

**Тип В** должен быть назван разорванным, поскольку машинный зал и котельная поставлены отдельно и соединяются галлереей, по которой уложены паропроводы и электрические кабели Котельная имеет два открытых фронта — один для топливных устройств, другой для газоочистных и тягодутьевых установок Этот вариант может быть использован для любого топлива и станций преимущественно крупных мощностей Основное преимущество этой компоновки — обилие дневного света и

расположение [illegible] в гер-
ном [illegible] Отд[illegible] новке [illegible] такую [illegible] со стороны [illegible] ны [illegible] существу [illegible] между машинным залом и котлом. [illegible] щества [illegible] роудавливанием [illegible] фронт котла и [illegible] искусственного света и [illegible] станков.

**Тип Г** для кусковых топлива при [illegible] решетках показан на рис. 79. В этом случае бункерная галлерея, расположенная

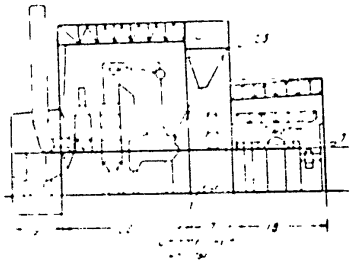


Рис. 79. Вариант компоновки ТЭЦ с сжиганием топлива на цепных решетках

между машинным залом и котельной является одновременно местом установки деаэраторов. Затемнения фронта котлов не будет. При слоевом сжигании топлива мультициклоны хорошо справляются с очисткой дымовых газов от летучей золы, так как в этом случае дымовые газы имеют в своем составе более крупные частицы золы, чем при пылевидном сжигании.

Котельная обычно по длине состоит из ячеек, образованных рамами из армированного бетона. Расстояние между осями рам 7—12—16 м в зависимости от длины фронта котла. Емкость бункеров необходимо выбирать минимально допустимую, дабы не утяжелять конструкции котельной.

При определении размеров машинного зала длину зала следует принимать исходя из необходимости выемки роторов генераторов, а размер по направлению, перпендикулярному к оси турбины, должен позволять ввести конденсатор под фундамент, производить чистку конденсатора и установку в него новых трубок. Арматура, вспомогательное оборудование и трубопроводы должны быть расположены так, чтобы оставались проходы не менее 1,0—1,5 м.

В машинный зал должны быть введены железнодорожные пути для подачи частей турбогенератора и разгрузки их краном в период строительства. Необходимо также предусмотреть монтажную площадку, дающую возможность производить ревизию

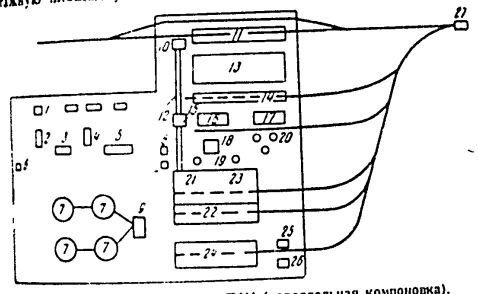


Рис. 80. Ситуационный план ТЭЦ (параллельная компоновка).

1—бензиносмазывание; 2—гараж; 3—пожарное депо; 4—жилые казармы; 5—главная контора; 6—вещевой склад; 7—вагонные весы; 8—проходная; 9—насосная; 10—первичное дробление; 11—помещение для собак; 12—грязелечебная; 13—склад топлива; 14—разгрузочная эстакада; 15—турбина; 16—механическая мастерская; 17—материальный склад; 18—разгрузочное устройство; 19—дымовая труба; 20—нефтехозяйство; 21—служебный корпус; 22—щит управления; 23—главный корпус; 24—подстанция 35/110 кв; 25—маслохозяйство; 26—склад масел; 27—вагонные весы; 28—ж.-д. парк.

и монтаж с установкой верхних частей цилиндров турбин и ротора на этой площадке.

Высота машинного зала определяется условиями возможности поднятия ротора цилиндра низкого давления над плоскостью разъема нижней части цилиндра на высоту около 0,5 м.

Одним из важнейших вопросов проектирования станции является правильное размещение основных и подсобных сооружений на площадке. Особенно сложным является расположение отдельных частей установки на металлургическом заводе. В этом случае должна быть достигнута общая увязка со всем строительным комплексом комбината.

Размещение сооружений на площадке, так называемый ситуационный план (рис. 80), зависит от следующих факторов:

а) мощности станции б) расположения железных и шоссейных дорог в) расположения водных источников (рек озер морей) г) профиля выбранной площадки д) направления линий передачи и тепловых магистралей

В настоящее время принята так называемая параллельная компоновка плана (рис 80)

Ситуационный план является последним звеном связывающим все отдельные этапы проектирования

На металлургическом заводе ТЭЦ обычно находится на территории завода, но отделяется оградой со специальной проходной конторой

Ряд хозяйственных построек (бензинохранилище гараж пожарное депо главная контора) может быть обобщен заводскими

Для тепловозовых установок с локомобилями принят вариант с поперечным расположением, как единственно рациональный (рис 81) Этот вариант отличается следующими особенностями Здание компактно Вследствие принятого расположения машин получаются как бы обособленные помещения котельной и машинного зала особенно важна при этом возможность изолировать электрические машины от пылящей топливоподачи Обслуживание топок, подвоз топлива отвоз золы, наблюдение за котлами производятся как в обычной котельной

Трубопроводы, питательные баки, кабельные выводы от каждого агрегата располагаются удобно и однотипно Расширение может быть произведено путем установки еще одной машины рядом с действующими

Рис 81 Компоновка локомобильной установки



Мостовой кран не является необходимым при монтаже локомобилей; достаточно обыкновенных козел с укрепленными на них талями

Площадка кочегара освещена через оконные проемы.

Сборный дымовой боров расположен позади котлов и выведен в сторону постоянного торца, где устанавливаются дымовая труба, и если нужно дымосос и общий водяной экономайзер. Позади борова установлены генераторы, расстояние до которых выбрано из условий наиболее благоприятной работы ременной передачи За генераторами находится общий электрический щит

Служебные помещения, химическая очистка и мастерская расположены со стороны постоянного торца

На рис 81 дан вариант компоновки для локомобилей типа ЛМ-VIII мощностью по 225 л с каждый В случае насадки генератора на вал локомобиля непосредственно остается все же поперечная компоновка, как имеющая бесспорные преимущества

Компоновка электростанций с дизельными двигателями может быть произведена по двум принципам поперечное расположение двигателей, в случае, если генератор находится на коренном валу двигателя, будучи с ним соединен муфтой, и продольное расположение если генераторы приводятся в действие с помощью ремня

Служебные помещения, щит управления, мастерские и т д компактно размещаются в одном здании. Баки для топлива находятся на территории установки и располагаются ниже отметки территории под землей Бак для охлаждающей воды расположен в верхних этажах здания над служебными помещениями В случае циркуляционного водоснабжения на территории, кроме того, располагается градирня, обычно капельного типа с естественной тягой

## 12. Монтаж теплосилового оборудования

Монтажные работы на строительстве теплосиловых установок тесно связаны со строительными работами, причем в некоторых случаях качество строительных работ решает успех монтажных. Из этих соображений необходимо очень внимательно произвести увязку строительных и монтажных работ в генеральном плане. Особенно сложен монтаж, когда, например, монтажные работы идут параллельно со строительными в несколько ярусов, что имеет место при монтаже котельной, когда монтаж котлов идет параллельно с установкой ферм. Пример генерального графика работ приведен на рис 82. Монтажные работы делят на две большие группы 1) тепло и механомонтаж и 2) электромонтаж.

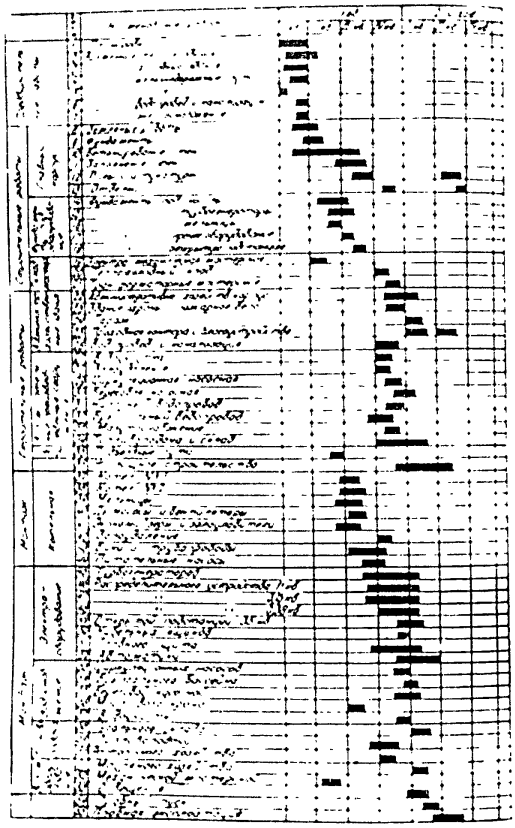


Рис. 8. Генеральный график работ строительства ТЭЦ



Так как монтаж связан с получением по железной дороге тяжелого оборудования необходимо предусмотреть отдельную группу такелажников

Современные методы предусматривают применение в самом широком масштабе электрической и газовой сварки, поэтому должны быть предусмотрены электрические сварочные агрегаты и ацетиленовые генераторы Для обслуживания пневматического инструмента должен быть установлен компрессор

Все участки должны быть обеспечены детальными схемами и рабочими чертежами Детальный план монтажных работ, составленный в виде графика, устраняет простои и при непредвиденных остановках позволяет легче маневрировать рабочей силой. До монтажа должны быть построены монтажные кладовые, расположенные в центре монтажных работ, но так, чтобы в дальнейшем они не стесняли работ по монтажу Для разгрузки крупного оборудования необходимо предусмотреть монтажные площадки

## Монтаж котельной

Важнейшим вопросом при монтаже котлов является организация транспортирования оборудования со склада в определенной технологической последовательности Для этого в котельную должен быть введен по крайней мере один железнодорожный путь широкой колеи Большую пользу приносит применение железнодорожных кранов грузоподъемностью до 15 т. Кран можно использовать для подачи в котельную самого разнообразного оборудования, в том числе барабанов котла, собранных экранов и т п Подача монтируемого котельного оборудования производится на отметку пола первого этажа, а подъем осуществляется через специальные монтажные проемы, которые должны быть оставлены в первом перекрытии Монтажные проемы заделывают после полного окончания основных работ по котлам

Примерное размещение оборудования на площадке к моменту начала монтажа показано на рис. 83.

В качестве основных монтажных механизмов при монтаже котлов применяются стрелы или краны с укосиной, последние нашли особенно широкое применение Из рис 84 видно, что кран с укосиной можно устанавливать в задней части котельной с укреплением к основным колоннам зданий Радиус действия крана около 15 м Такой кран может применяться для монтажа двух котлов одновременно С помощью этого крана монтируется каркас котла, воздухо- и водоподогреватели, лестницы, площадки, тягодутьевые устройства. Более простым устройством является монтажная стрела Грузоподъемность стрел 10—12 т Согласно рис 85 при монтаже котлов целесообразно

[illegible] в хвостовой части [illegible]

[illegible] монтажа [illegible] сборка [illegible] за пер[illegible] имеемые затем [illegible] работ. Этому [illegible] так как [illegible] также [illegible] заменяет [illegible]

[illegible] отличаться от прямоугольной [illegible] например может достигать 50 т.

[illegible] на специальных [illegible] стрел [illegible] на месте. Для [illegible] каркас не устанавливают [illegible] в ходе работ по установке экранов [illegible] 80.

[illegible] фронтовой стрелы и [illegible] ставят на под котельной [illegible] 1. Затем стойки закрепляют в нижней части [illegible] стрелы 2 и в верхней части [illegible] Дальнейшая уста[illegible] на чертеже [illegible] занимает около двух [illegible] производятся с помощью задней [illegible]

[illegible] что кроме [illegible] более уплотнительное [illegible] экономайзера [illegible] также сборку пакетами для [illegible] пакеты осуществляют на первом этаже котельной или даже вне котельной с последующей доставкой пакета на место монтажа. Тоже следует сказать о пароперегревателе. Установку мельниц для размола угля при сжигании в пылевидном состоянии можно начинать как только окончат бетон фундамента, не дожидаясь окончания подготовки [illegible] в каналах.

Выше [illegible] мельницы не могут быть втянуты в [illegible] или в ряд. Установку следует [illegible] Монтаж мельниц [illegible] и несложная сборка стропов

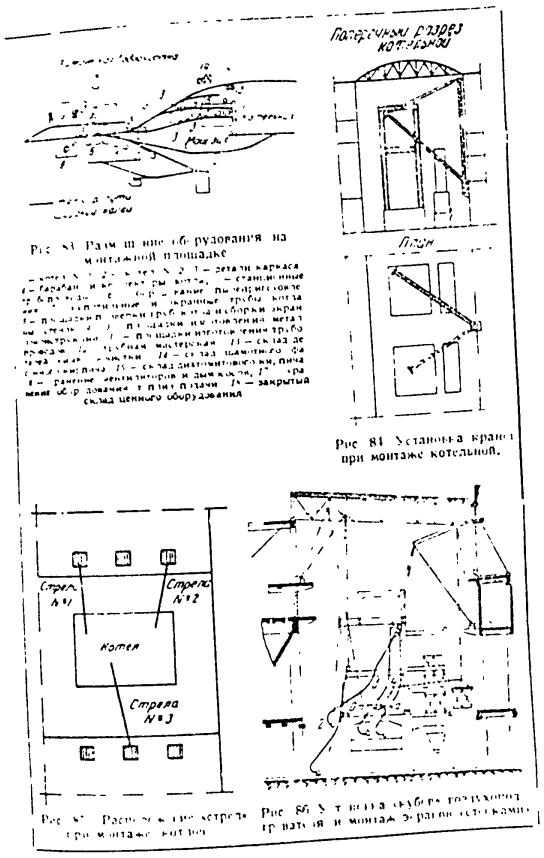



Рис. 81. Установка кранов при монтаже котельной.

Рис. 87. Расположение стрел при монтаже котлов.

Рис. 86. Установка скуфера, воздухоподогревателя и монтаж экранов [illegible]

тельно сказывается на качестве монтажа. Когда необходимо провести точную центровку установки редукторов и моторов у мелкосидов укладка котлов бывает уже закончена и отделочные работы выполнены.

Монтаж пылеугольных трубопроводов можно начать после установки всех агрегатов, которые фиксируют конечные фланцы. Если пылеугольные трубопроводы изготовляются на месте монтажа, необходимо отвести соответствующую площадку с навесом или даже специальную мастерскую, в которой можно было бы расположить громоздкие короба и трубы. После окончания монтажа пылеугольных трубопроводов производят проверку их плотности после пуска вентиляторов и дымососов, на стыки насыпают мелкий порошок мела или смазывают раствором мыла места соединений. По белым струям в неплотностях или по воздушным пузырям определяют дефекты сборки.

Обмуровочные работы имеют обычно большой объем, требуют четкой организации работ и механизации процесса подачи материалов.

Поскольку обмуровка требует укладки кирпича впритирку, необходимо для подготовки кирпича установить дисковую шлифовочную машину с карборундовым кругом, которая ускоряет процесс притирки кирпича примерно в пять раз.

При металлической обшивке топки объем обмуровочных работ уменьшается и ограничивается футеровкой топки и газоходов.

## Монтаж машинного зала

Работы по монтажу турбогенераторов могут быть отнесены к разряду самых сложных и точных, поэтому подготовка и организация этих работ должна быть особенно тщательной. Монтаж турбогенератора может быть начат лишь после окончания основных строительных работ. Если монтаж производится зимой, машинный зал должен отапливаться, чтобы температура в нем была не ниже +5°С. При подаче оборудования для монтажа в первую очередь следует подавать те части, которые нужны в начале монтажа: конденсатор, фундаментную раму, стулья подшипников.

При организации монтажных работ необходимо составить план монтажных площадок, чтобы распределить места для установки отдельных деталей и узлов агрегата перед сборкой.

Монтаж турбогенераторов производится по разработанному графику в определенной последовательности. К началу монтажа турбогенераторов должен быть полностью закончен и проверен мостовой кран. Железнодорожный путь обычно введен в машинный зал, так что разгрузка оборудования из вагонов может быть произведена непосредственно мостовым краном.



В монтажных работах по машинному залу одно из видных мест занимают такелажные работы, производимые обычно мостовым краном, талями, домкратом. Необходима поэтому предварительная проверка такелажного оборудования, включая проверку тросов и канатов с маркировкой их и указанием допускаемой нагрузки.

Значительное время занимает чистка поступающих для монтажа деталей.

Для этого необходимо подготовить нужный материал: паклю, тряпье, керосин, щетки и т. п. Работу по чистке ведут во вторые и третьи смены, чтобы не загромождать площадки и не мешать при сложных сборочных работах.

Подготовка фундамента к монтажу заключается в проверке его размеров. Особенно тщательно нужно проверить расположение колодцев для фундаментных болтов.

Установка такой громоздкой и тяжелой детали, как конденсатор турбины, требует предварительной подготовки, так как его перемещение с помощью крана по машинному залу связано с рядом трудностей.

Точные работы, к которым относятся центровка цилиндров, установка вкладышей подшипников, укладка роторов и т. п., производятся ответственным монтажным персоналом в первую смену.

Перед сборкой масляной системы турбины необходимо предъявить повышенные требования к очистке маслопроводов, баков и картеров подшипников.

Монтаж циркуляционных насосов можно вести силами машинных бригад после окончания основных работ.

Установка вспомогательных устройств турбины—конденсационных насосов, маслоохладителей — должна быть начата тотчас же по окончании установки главного агрегата.

Монтаж береговой насосной следует начинать после спада весенних вод, с тем чтобы закончить его до наступления осеннего паводка. Это необходимо в связи с тем, что установка насосов связана с монтажом всасывающих труб ниже горизонта весенних вод, а искусственные мероприятия для предупреждения затопления мало надежны.

К моменту окончания монтажа машинного зала должен быть получен пар для опробования турбогенераторов. К этому времени должно быть закончено монтажом электрооборудование механизмов для собственных нужд, чтобы иметь возможность пустить моторы вспомогательных насосов.

Монтаж теплофикационных бойлеров и насосов можно вести параллельно с главным агрегатом. Пробный пуск турбогенератора начинают с вспомогательных механизмов и, после того как будет установлена нормальная работа их, приступают к пуску

т. е. генератора. Сушку генератора производят обычно около 24 часов.

## Монтаж трубопроводов и баков

Работы по монтажу трубопроводов можно начинать только после окончательной установки всех основных агрегатов станции (котлов, турбин, насосов, баков и т. д.). Это вызвано тем, что вначале должны быть зафиксированы точки присоединения трубопроводов, т. е. выходные и входные фланцы теплового оборудования. Подготовительные работы по монтажу стационных трубопроводов должны быть начаты задолго до начала монтажа таковых.

Трубопроводы, выполненные по установочным чертежам на заводе, присылают на место работ с одним свободным фланцем, для облегчения пригонки по месту.

Современные трубопроводы, соединяемые путем сварки, требуют всегда окончательной пригонки по месту.

На площадке должны быть оборудованы вблизи места монтажа специальные трубопроводные мастерские с соответствующим оборудованием: горном для разогрева труб, приспособлением для гнутья труб лебедкой, станком для гнутья и подгиба труб большого диаметра, верстаками с трубопроводными и слесарными тисками. Кроме того, должно быть изготовлено несколько переносных верстаков с закрепленными трубными тисками для работ на месте.

В том случае, когда завод не поставляет подвесок и опор для трубопроводов, а число подготовительных работ войдет изготовление опорных конструкций и подвесок по заранее полученным чертежам. На участке монтажа трубопроводов следует концентрировать максимальное число сварочных трансформаторов и автогенных аппаратов.

Должны быть подготовлены места питания сварочных агрегатов, заготовлены бронированные провода и шланги для автогенных аппаратов, а также обеспечено снабжение сварочных работ кислородом, карбидом кальция и электродами.

Монтаж трубопроводов нужно производить сразу в нескольких точках, а начинать его следует с трубопроводов большого диаметра.

Баки поступают на строительство в готовом виде. Для установки баков следует выбрать время, когда перекрытия и стены еще не забетонированы и позволяют ввести баки в здание в любом месте.

Необходимо использовать все возможности, чтобы начать работы по монтажу трубопроводов как можно раньше, учитывая их объем и невозможность пуска станции без полного окончания стационных трубопроводов.



## Изоляционные работы

Изоляционные работы непосредственно связаны с окончанием монтажа трубопроводов.

Изоляция как трубопроводов, так и других излучающих поверхностей (воздухоподогреватели, воздухо- и газопроводы, дымососы и т. п.) может быть произведена только по горячим поверхностям. Некоторые поверхности можно изолировать в период наладочной эксплоатации, но изоляция паропроводов от котла до турбины должна быть произведена до пуска, так как в противном случае охлаждение может вызвать конденсацию пара и заброс влаги в турбину. Если котлы еще не пущены, то для нагрева паропровода необходимо установить вспомогательный временный котел.

Изоляционные работы сильно загрязняют и загромождают помещения изоляционными материалами, подмостями и т. п. Поэтому следует в первую очередь заканчивать изоляционные работы в той части, которая связана с пуском агрегатов, т. е. у турбогенератора, насосов и котлов. Все остальные работы следует производить в период наладочной эксплоатации, однако не затягивая их до момента сдачи установки в эксплоатацию.

## Монтаж топливно-транспортных устройств

Монтаж транспортеров, дробилок, лебедок и т. п. можно начинать тотчас же по снятии опалубки, не дожидаясь окончания строительных работ. Монтаж транспортных устройств настолько прост, а механизмы грубы и приспособлены к работе в пыльных помещениях, что такое вклинивание монтажных работ не отразится на их качестве.

Ленты транспортеров, ремни и электромоторы следует устанавливать только по окончании строительных отделочных работ во избежание их порчи.

Монтаж оборудования угольных складов со скреперами, портальными и кабельными кранами нужно заканчивать до окончания строительных работ, так как это оборудование может быть использовано для планировки площади, что значительно снижает стоимость работ. Портальные и кабельные краны могут быть использованы для разгрузки прибывающих составов с материалами. Транспортное оборудование изготовляется заводами в виде стандартных элементов, сборка которых производится по рабочим чертежам, приспособленным к данной установке.

Однако заводы иногда не поставляют в готовом виде опорных конструкций и каркасов под транспортеры, которые необходимо изготовлять на месте. Поэтому должна быть организована особая мастерская для изготовления конструкций. Заготовку

конструкций и организацию мастерской надо начинать за месяц до начала монтажных работ, с тем, чтобы по ходу монтажа успевать изготовлять необходимые конструкции. Монтаж транспортных устройств следует начинать одновременно на нескольких участках, чтобы во первых ускорить всю работу поскольку на отдельном участке трудно расположить большую группу рабочих, и во вторых избежать простоев в случае задержек на одном из участков оставив свободу маневрирования рабочей силой путем переброски на другие участки. При монтаже транспортных устройств самым широким образом должна быть использована электросварка.

Монтаж мазутного растопочного хозяйства должен быть закончен до начала сушки котлов, поэтому эти работы следует начинать тотчас же по окончании вчерне строительных работ.

## Монтаж контрольно-измерительной аппаратуры

Контроль и автоматика современной теплосиловой установки представляют сложный и ответственный комплекс монтажных и наладочных работ, требующих подготовки и контроля.

С целью проведения работ в соответствующих условиях для контрольно-измерительных приборов и автоматов задолго до монтажа должна быть отведена мастерская — склад чистое, отделанное, светлое и отепленное помещение с небольшим верстаком, тисками, тисочками и комплектом мелкого слесарного инструмента. В кладовой, также отдельном теплом помещении, должны быть устроены стеллажи из чистых строганых досок.

Аппараты контроля и автоматизации после регистрации на складе должны поступить в мастерскую, где их подвергают контролю, осмотру, а затем укладывают на соответствующее место в том порядке, в каком они должны быть переданы на монтаж.

Начинать монтаж измерительных приборов можно лишь после окончания всех отделочных строительных работ и монтажа оборудования. Современная контрольно-измерительная аппаратура в большой степени является электрической поэтому монтажный персонал должен состоять из электромонтеров, слесарей, мастера точной механики и руководителя, знакомого со всем комплексом монтажа и работы приборов. Щиты и пульты с контрольными приборами, устанавливаемые у котлов, турбин и других агрегатов, с успехом могут быть смонтированы в мастерской и затем в готовом виде установлены на место. Это позволяет начать монтаж ранее уборки помещений. Такой метод работ конечно, зависит от конструкции щитов. При тяжелых неразборных щитах монтаж с тыльной стороны щита можно на-



чинать и до полной уборки помещений, закрыв плотно все отверстия и дав искусственное освещение внутрь. Тогда после уборки помещения остается лишь наружн[illegible] установка заранее [illegible]веренных приборов.

Не следует допускать работу [illegible]ез контрольных [illegible]приборов. Выполнение этого т[illegible] [illegible]т избежать мно[illegible]ких неприятностей и непо[illegible]ковым перио[illegible]м. Целый ряд приб[illegible] [illegible] налажен в мастерской, часть [illegible]ройти на[illegible]ладку на ходу [illegible] соответст[illegible]вующие [illegible]

Н[illegible]

[illegible]

Гр[illegible]

[illegible]

работ[illegible]

оборуд[illegible]

теплоте[illegible]

Должны [illegible]

[illegible]бора проб[illegible]

[illegible]а автомат[illegible]

[illegible]има ра[illegible] приборов. [illegible]ен быть сос[illegible]м работ. В объем [illegible] работы по монтажу и [illegible] измерительных приборов, [illegible]центрального теплового щита, [illegible]параты и приспособления для от[illegible]ита, пара, а также произведена налад[illegible]сов.

Вся аппа[illegible]ра должна быть сдана в запломбированном виде с соответствующими паспортами и таблицами поправок.



## Монтаж санитарно-технических устройств

Пуск теплосиловой установки не может быть осуществлен без полного окончания санитарно технических устройств, к которым относятся отопление, вентиляция, водопровод и канализация. Часть работ должна быть проведена до начала строительных работ. К такой, категории относится наружный и противопожарный водопровод на стройплощадке. Окончание этих работ в первую очередь даст возможность избежать сооружения временного водопровода для обслуживания строительства. Работы по отоплению включают тепломагистрали на территории установки, назначение которых питать теплом от центрального бойлера служебные и вспомогательные здания. Работы по отоплению и вентиляции производственных помещений можно начинать с момента установки основного оборудования с тем, чтобы к моменту пуска станции никаких монтажных работ по сантехнике в производственных помещениях не вести.

## Порядок пуска теплосиловых установок после окончания монтажа

По окончании строительных и монтажных работ на строящейся станции начинается пусковой период.

[illegible] и организации [illegible] монтажных [illegible] устанавливать и отводить необходимые подъемных устройств [illegible] ких участках чтобы [illegible] на отдельных участках [illegible] больших и во вторых [illegible] одном из участков оставив силой путем переброски на портных устройств самым [illegible] пользована электросварка

Монтаж мазутного расп[illegible] кончен до начала сушки [illegible] начинать тотчас же по окон[illegible] месяц [illegible] монтажа [illegible] трансп[illegible] на несколь[illegible] [illegible] рабочей [illegible] трансп[illegible] быть не [illegible] он быть за[illegible] оты следует [illegible] ных работ

## Монтаж контрольно-измерительной аппаратуры

Контроль и автоматика современной теплосиловой установки представляют сложный и ответственный комплекс монтажных и наладочных работ, требующих подготовки и контроля

С целью проведения работ в соответствующих условиях для контрольно-измерительных приборов и автоматов задолго до монтажа должна быть отведена мастерская — склад чистое, отделанное, светлое и отепленное помещение с небольшим верстаком, тисками, тисочками и комплектом мелкого слесарного инструмента В кладовой, также отдельном теплом помещении, должны быть устроены стеллажи из чистых строганых досок.

Аппараты контроля и автоматизации, после регистрации на складе, должны поступить в мастерскую, где их подвергают контролю, осмотру, а затем укладывают на соответствующее место в том порядке, в каком они должны быть переданы на монтаж

Начинать монтаж измерительных приборов можно лишь после окончания всех отделочных строительных работ и монтажа оборудования. Современная контрольно-измерительная аппаратура в большой степени является электрической, поэтому монтажный персонал должен состоять из электромонтеров, слесарей, мастера точной механики и руководителя, знакомого со всем комплексом монтажа и работы приборов. Щиты и пульты с контрольными приборами, устанавливаемые у котлов, турбин и других агрегатов, с успехом могут быть смонтированы в мастерской и затем в готовом виде установлены на место. Это позволяет начать монтаж ранее уборки помещений Такой метод работ, конечно, зависит от конструкции щитов При тяжелых неразборных щитах монтаж с тыльной стороны щита можно на-



чать и до полной уборки помещений, закрыв плотно все отверстия и для искусственное освещение внутрь Тогда после уборки помещения остается лишь наружная установка заранее [illegible]ренных приборов

Не [illegible] начать работу агрегатов без контрольных [illegible] Выполнение этого требования позволит избежать многих [illegible] и неполадок связанных с пусковым периодом Целый ряд приборов может быть полностью налажен в мастерской часть же приборов должна неизбежно пройти наладку на ходу агрегатов Для этого нужно создать соответствующие условия монтажному персоналу

Необходимо обеспечить возможность изменения режима работы агрегатов если это потребуется, для наладки приборов График монтажных работ по теплоконтролю должен быть составлен в общей увязке с генеральным графиком работ В объем работ по теплоконтролю надо включить работы по монтажу и оборудованию лаборатории тепловых измерительных приборов, теплотехнической лаборатории и центрального теплового щита Должны быть изготовлены аппараты и приспособления для отбора проб пыли конденсата, пара, а также произведена наладка автоматических весов

Вся аппаратура должна быть сдана в запломбированном виде с соответствующими паспортами и таблицами поправок

## Монтаж санитарнотехнических устройств

Пуск теплосиловой установки не может быть осуществлен без полного окончания санитарно технических устройств, к которым относятся отопление, вентиляция, водопровод и канализация Часть работ должна быть проведена до начала строительных работ К такой категории относится наружный и противопожарный водопровод на стройплощадке. Окончание этих работ в первую очередь даст возможность избежать сооружения временного водопровода для обслуживания строительства Работы по отоплению включают теплофикацию на территории установки, назначение которых питать теплом от центрального бойлера служебные и вспомогательные здания Работы по отоплению и вентиляции производственных помещений можно начинать с момента установки основного оборудования с тем, чтобы к моменту пуска станции никаких монтажных работ по сантехнике в производственных помещениях не вести

## Порядок пуска теплосиловых установок после окончания монтажа

По окончании строительных и монтажных работ на строящейся станции начинается пусковой период

Этот период может быть разделен в свою очередь, на четыре отдельных периода: а) предпусковой период, б) пусковые опробования, в) собственно пусковой период, г) наладочная эксплоатация.

Начало пускового периода может быть намечено только после детального рассмотрения объема наладочных работ.

Совершенно недопустимым является пуск станции до полного окончания всех работ, связанных с нормальной эксплоатацией. Пусковой период наступает тогда, когда закончен полностью теплоэлектромонтаж, намеченный объемом проекта и генеральной сметой.

Незаконченными к этому времени могут быть лишь работы второстепенного характера, а именно: приведение в порядок территории и оборудование тех общих сооружений, не мешающих пуску и наладке. К моменту пуска все строительные работы внутри помещений должны быть закончены и строительные рабочие вывезены из помещений станции.

Для координирования всех действий по пуску, который должен совершаться в определенной последовательности по заранее разработанному плану, должна быть назначена группа наиболее опытных лиц из числа будущего эксплоатационного персонала, возглавляемая опытным в эксплоатации станции лицом в качестве председателя. Все вопросы пуска решаются этой группой коллективно, единолично председателем.

Начало пускового периода должно быть посвящено приведению в порядок основной техники и документации строительства, подбору схем тепловой и электрической части, выяснению характеристик отдельных агрегатов путем получения таковых у заводов, если они не были получены ранее, и изготовлению исполнительных чертежей, подбору и обучению кадров. Обучение будущего эксплоатационного персонала желательно вести на действующей родственной теплосиловой установке в качестве дублеров.

Кроме того, полезно кадров заблаговременно знакомить по линии изучения будущим эксплоатационным персоналом оборудования и основных схем станции. Это особенно касается дежурных техников, старших машинистов и кочегаров, с этой точки зрения весьма желательно учитывать, что в процессе монтажных работ с тем же бесспорно с оборудованием поскольку более глубокий и основательный характер.

Исходя из всего большого предпускового периода, начало его может быть определено за 1—2 мес. до намеченного срока пуска установки. В этот период должны быть произведены опробования механизмов в таком порядке. Как правило, вначале должны быть опробованы в одиночном режиме механизмы, подающие топливо, затем мельницы, дымососы, вентиляторы и т. д.



причем процесс опробования сопровождается исправлением замеченных дефектов.

Опробование отдельных механизмов назначается председателем пусковой комиссии и происходит в присутствии членов комиссии с обязательным участием будущего эксплоатационного персонала станции. Опробование каждого отдельного агрегата фиксируется актом, в котором указывается характеристика, полученная при опробовании, и отмечаются замеченные дефекты, не препятствующие вводу в эксплоатацию. В случае обнаружения серьезных дефектов назначается вторичный срок опробования после устранения дефектов. После опробования вспомогательных механизмов приступают к пуску и опробованию основных. С этого момента начинается собственно пусковой период. Обычно этот период охватывает около 10 дней. Пуск проводится точно по намеченному графику. К этому времени весь эксплоатационный персонал должен быть на местах. Ведение эксплоатации в этот период находится в руках монтажного персонала, шефмонтера, монтажных инженеров и т. д., которые, однако, в оперативном отношении подчинены председателю пусковой комиссии как единственному распорядителю всех операций по пуску.

Будущий эксплоатационный персонал вначале этого периода является лишь дублером. В течение 10 дней эксплоатация постепенно переходит из рук монтажного в руки эксплоатационного персонала. Одновременно председатель пусковой комиссии передает ведение эксплоатации заранее назначенному главному инженеру установки, который к концу 10 дневного периода становится единственным распорядителем эксплоатации. Начальник строительства в этот же период передает ряд хозяйственных функций директору станции. С этого момента начинается период наладочной эксплоатации. Эксплоатацию ведет постоянный персонал станции, а монтажный постепенно устраняет замеченные дефекты, инструктируя дежурный персонал на рабочих местах. Поскольку в период наладочной эксплоатации возможны неполадки и остановки отдельных агрегатов, должно быть обусловлено, что за недоотпуск энергии в этот период персонал станции не подвергается взысканиям и штрафам.

В процессе наладочной эксплоатации происходит приемка станции государственной администрацией.

Период наладочной эксплоатации заканчивается генеральным испытанием станции, имеющим целью выявить соответствие параметров станции проектным данным. Такое испытание проводится специальными организациями (ОРГРЭС, Оргэнерго, Энергочетметаллургпром и др.).

После генерального испытания составляется акт о приемке установки во временную эксплоатацию. К этому мо-

менту должны быть закончены все работы и строительство ликвидировано. Все дела должны быть переданы управлению станции. Персонал строительства должен быть уведен с территории.

Подписание акта приемки во временную эксплоатацию не исключает ответственности строительной организации за качество выполненных работ вплоть до передачи установки в промышленную эксплоатацию после приемки ее специальной комиссией, назначаемой Правительством.

Акт приемки подписанный Правительственной комиссией, знаменует собой окончание всех обязательств строительной организации и переход установки в ряд действующих предприятий.

### КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ К ГЛАВЕ IV

1. Определить площадь угольного склада. Описать способ работы скреперного устройства и грейферного крана. Описать существующие схемы золоудаления и их технические и экономические показатели.
2. Значение очистки дымовых газов и способы очистки.
3. Описать существующие системы водоснабжения теплосиловых установок и метод выбора системы применительно к местным условиям.
4. Дать примеры схемы питания и схемы паропроводов с соответствующей технической оценкой их качества.

---

*ГЛАВА V*

# ЭКСПЛОАТАЦИЯ ТЕПЛОСИЛОВЫХ УСТАНОВОК

## 1. Основные задачи организации эксплоатации теплосиловых установок

Эксплоатация теплосиловых установок, в отличие от других промышленных предприятий, находится в особо сложных условиях, которые объясняются характером производства (работа по графику, выбор мощности по максимуму нагрузки, невозможность аккумулирования в широком масштабе).

Несмотря на эти сложные условия, должны быть удовлетворены основные требования эксплоатации: надежность, безопасность и экономичность производства. Обычно теплосиловые установки в системе социалистического хозяйства кооперируются с другими элементами производственных комбинатов (доменным, мартеновским и т. п.), или аналогичными теплосиловыми установками.

Отсюда следует еще одно требование — координирование режима установки с режимом других производственных единиц, осуществляемое диспетчерским управлением.

Надежность эксплоатации и бесперебойность обеспечиваются выбором агрегатов и их типа еще в период проектирования, однако создание нормального режима работы отдельных агрегатов повышает эту надежность.

Качество и количество готовой продукции теплосиловых установок, в отличие от прочих промышленных предприятий, могут быть определены только по параметрам на основании показаний измерительных приборов (количество электроэнергии в киловатт-часах, тепла в мегакалориях, напряжение, температура и т. д.).

Нормальные параметры могут быть получены лишь при определенных условиях работы агрегатов. Результаты работы агрегата, определяемые по показаниям измерительных приборов и выраженные числовой величиной, называются **техническими показателями**.

Технические показатели агрегата зависят от состояния отдельных частей агрегата, состояния смежных частей и вспомогательных агрегатов, а также параметров рабочего вещества и качества обслуживания.

[illegible]

При определении [illegible] следует учитывать не только [illegible] факторов [illegible] показателей.

[illegible] установки или [illegible] кружком месяцы например паровоз [illegible] может лимитироваться производительностью [illegible] мелниц. Задачей правильной эксплоатации является [illegible] таких мест.

Экономичность теплосиловой установки определяется технико-экономическими показателями. Следовательно борьба за высокие показатели является основной задачей эксплоатации. Показатели работы агрегатов и теплосиловой установки в целом определяют коэффициент полезного действия. Повышение к.п.д. есть повышение экономичности установки.

Основными показателями работы теплосиловой установки в целом являются количество вырабатываемой энергии и расход топлива. Эти два показателя определяют производный показатель — удельный расход топлива

$$q = \frac{B}{A} \text{ кг/квтч} \qquad (119)$$

Для котельного цеха основными показателями работы являются количество произведенного пара и расход топлива, а производным показателем — испарительность топлива

$$H = \frac{D}{B} \text{ кг/кг} \qquad (120)$$

Для машинного цеха основными показателями работы являются расход пара и количество выработанной энергии, а производным — удельный расход пара

$$d = \frac{D}{A} \text{ кг/квтч} \qquad (121)$$

Для топливно транспортного цеха основными показателями являются расход электроэнергии и количество поданного топлива, а производным — расход энергии на 1 т подданного топлива

$$c = \frac{A_{пер}}{B} \text{ квтч/т} \qquad (122)$$

Однако работа цеха и всей установки характеризуется не только техническими, но и экономическими показателями, в которые входят такие факторы, как расход смазки стоимость обслуживания и ремонта. Сравнение заданных показателей с полученными дает возможность судить о качестве работы цеха и всей станции.

Улучшение показателей требует проведения ряда мероприятий по отдельным цехам для создания режима экономичной ра-



боты. Так, например, по топливно-транспортному цеху теплосиловых установок одним из мероприятий является полная загрузка транспортных механизмов. Если загрузка механизмов мала, то надо остановиться пользоваться бункером как аккумулятором для питания котла топливом. Для этого в соответствии с суточным графиком должен быть разработан график работы транспортных устройств. Уменьшение расходов на персонал стоит в тесной зависимости от степени автоматизации процессов. Например, в транспортном цехе введение блокировки и централизованного управления транспортерами резко снижает количество эксплоатационного персонала.

Расчет количества смазочного материала должен быть определен с использованием опыта пробной эксплоатации.

Для определения показателей работы топливно-транспортного цеха служат не только измерительные приборы, каковыми являются весы и счетчики расхода энергии, но и документальные данные платежные ведомости, наряды и требования на материалы. Важнейшим измерительным прибором топливно-транспортного цеха являются весы. Уход за весами и их проверка составляют важную задачу правильной эксплоатации.

Всегда себя оправдывает штатное место весового мастера, в задачу которого входит постоянное наблюдение и ремонт весового хозяйства. Если учесть, что показания весов кладутся в основу всех расчетов по эксплоатации, то их исправность является важнейшим требованием эксплоатации.

Если в функции транспортного цеха входит также хранение топлива на складе, должны быть введены еще два показателя: стоимость хранения и процент потерь. Потери легко определить как разность между весом топлива, поступившего в котельную, и весом топлива, прибывшего на склад.

Чтобы знать вес топлива в штабелях, на складе должны быть установлены вагонные весы, которые дают возможность взвешивать если не все вагоны, то во всяком случае производить выборочное взвешивание отдельных вагонов.

Для получения правильной характеристики топлива по текстворной способности, влажности и зольности весьма важное значение имеет отбор так называемой **средней пробы**. В СССР разработана специальная инструкция по отбору проб всех видов топлива.

Контроль экономичности теплосиловой установки неосуществим без анализа сжигаемого топлива. Данные анализа в большой степени зависят от способа отбора пробы. Отбор пробы должен производиться непрерывно в течение всего времени работы установки. Желательно автоматизировать отбор пробы на транспортерах. Для этой цели имеются специальные приспособления.

[illegible]

### П[illegible] цеха

О[illegible] стоимость тонны пара

О[illegible] ство полученного [illegible] собственные нужды [illegible]

Расход [illegible] режима работы котлов [illegible] Качество топлива [illegible] определяется по данным теплотехнической лаборатории

Для получения оптимальных показателей необходимо провести ряд испытаний, важнейшие из которых дают следующие данные

1) оптимальный топочный режим в зависимости от сорта топлива,

2) график периодических продувок котлов

3) минимальную допустимую температуру питательной воды котлов,

4) условия работы перегревателя при различных режимах

5) расход топлива на разогрев котлов, пуск и стояние в горячем резерве

Кроме того, по вспомогательному оборудованию должны быть выявлены а) зависимость коэфициента теплопередачи экономайзера и воздухоподогревателя от режима обдувки и числа часов работы котла, б) зависимость расхода энергии на тягу и дутье от нагрузки котла, в) расход воды, электроэнергии и воздуха на золоудаление и золоулавливание

Помимо генерального испытания котлов при сдаче их в эксплоатацию, необходимо производить периодические контрольные испытания силами обслуживающего персонала Автоматизация котельных процессов (горения, питания) является фактором, повышающим надежность и экономичность эксплоатации Уменьшение расхода на собственные нужды обеспечивается введением жестких графиков для процессов, производимых в котельной, как обдувка, золоудаление, а также строгого режима работы мельниц, дымососов и вентиляторов.

### Показатели работы машинного цеха

Основные показатели работы машинного цеха аналогичны показателям работы котельной: количество выработанных киловатт-часов и удельный расход пара на киловатт-час-нетто

Дополнительными показателями являются расход на собственные нужды, расход на смазку и обтирку, зарплата персонала и стоимость ремонта



Расход на собственные нужды машинного зала в основном определяется расходом энергии на работу циркуляционных насосов

Поэтому определение наивыгоднейшего вакуума для различных нагрузок и температур охлаждающей воды имеет решающее значение

Работа цехов определяет показатели всей теплосиловой установки Важнейших показателей четыре 1) безаварийность и бесперебойность 2) выполнение плана выработки, 3) расход условного топлива (в *кг кватч* и *кг/мкал*) и 4) себестоимость киловатт часа и мегакалории

С целью поощрения персонала и осуществления предпосылок для социалистического соревнования, показатели, отражающие работу персонала, необходимо выводить посменно для того, чтобы каждая смена дежурного персонала, заканчивая смену, знала результаты своей работы

С целью устранения индивидуального подхода к оценке показаний приборов желательно устанавливать самопишущие приборы для определения важнейших показателей

Уходу за приборами следует уделять максимальное внимание, так как показания приборов служат основанием для управления режимом, осуществления контроля и определения показателей теплосиловой установки. Состояние измерительных приборов является важнейшим фактором культурной эксплоатации теплосиловых установок.

### 2. Технический контроль эксплоатации

Задачей технического контроля за эксплоатацией является установление такой системы наблюдений за приборами, при которой наиболее ясно выявлялись бы количественные и качественные показатели.

Знание показателей позволяет правильно руководить эксплоатацией установки, выявлять наивыгоднейшие режимы, находить и устранять узкие места, создавать нужные резервы и предупреждать аварии.

Основным документом технического контроля служат суточные ведомости, в которые каждые полчаса дежурный у агрегатов вписывает показания приборов, и, кроме того, данные лабораторий станции о качестве топлива и питательной воды.

В ведомость должны быть занесены не все показания приборов, а лишь те из них, которые определяют основные показатели работы агрегата

В каждой ведомости должна быть графа примечаний и обязательно подпись лица, производившего запись

[illegible] и
[illegible] ста
[illegible] вод
[illegible] ведет
[illegible] масла в
[illegible] для
[illegible] ания в основных
[illegible] производится
[illegible] по
[illegible] показателей могут быть
[illegible] и среднегодовые
показатели

Показатели вычисленные на основании суточных ведомостей, служат далее для определения отклонений от норм, установленных для данной станции а также являются основанием для премирования персонала

Важнейшее значение имеют среднесуточные и среднемесячные ведомости для руководителя предприятия — главного инженера и энергетика, так как позволяют принять нужные меры по улучшению режима и повышению экономичности станции.

### 3. Организация лабораторий на станции и их назначение

Задачей лабораторий на станции является получение таких показателей, как, например, теплотворная способность топлива, содержание горючего в шлаках и одновременно определение качества рабочих веществ, участвующих в цикле станции питательной воды, турбинного, смазочного и трансформаторных масел. Кроме того, специальная лаборатория занимается контролем электрических измерительных приборов

Особенно важное значение имеет работа химической лаборатории по определению качества питательной воды и пара Анализы лаборатории в этой части предупреждают образование накипи в котлах, а следовательно, возникновение отдулин и свищей на водогрейных и экранных трубах и отложение солей на лопатках паровых турбин. Продувка котлов производится на основании данных химической лаборатории. Определение горючего в шлаке в лаборатории позволяет корректировать процесс горения в топке, а следовательно, повышать к п д. котла. В настоящее время химическая лаборатория станций объединяется с водоподготовительным устройством в единый, так называемый химический цех. Начальником химического цеха должен быть



опытный химик. В лаборатории, кроме аналитиков и каждую смену [illegible] специальный дежурный по водоподготовительному [illegible]

При [illegible] электролаборатории обычно, помимо контроля за [illegible] ведет важнейшую работу по электрической [illegible] следит за реле и ведет испытание электрических [illegible] и аппаратов Часто при лаборатории для этого организуется отдельная релейная группа во главе с опытным инженером или техником

В химической лаборатории производят анализы по топливу, шлаку и воде каждую смену по смазочным и трансформаторным маслам — по мере надобности и заказам цехов

В химическом цехе ведутся суточные ведомости работы водоподготовительных устройств и журналы, куда заносятся результаты всех анализов

### 4 Производственные инструкции и правила технической эксплоатации теплосиловых установок

Для всех категорий работников теплосиловых установок существуют специальные производственные инструкции, которые могут быть разделены на четыре вида

1. Должностные, определяющие права и обязанности отдельных работников станции, правила сдачи и приемки смены, обязанности во время дежурства и т. д.

2. Эксплоатационные, содержащие правила пуска, остановки, обслуживания и ремонта оборудования.

3. Инструкции по технике безопасности, где указаны правила допуска в отдельные цехи установки, правила работы с приборами и аппаратами Обычно эти инструкции являются дополнением к эксплоатационным, составляя с ними нераздельное целое.

4. Аварийные инструкции, содержащие правила и меры предупреждения изученных ранее аварий оборудования. Основанием для составления всех видов инструкций служат изданные Министерством электростанций «Правила технической эксплоатации электрических станций и сетей». Знание «Правил» обязательно для всех работников электростанций. «Правила» содержат указания по эксплоатации всех частей теплосиловой установки, начиная от содержания территории и кончая организацией лабораторий теплосиловой установки. Работники всех категорий теплосиловой установки не реже одного раза в год подвергаются испытаниям в знании инструкции. Для изучения инструкций соответствующими начальниками цехов ведется производственное обучение всех работающих на рабочем месте. При монтаже и особенно проектировании установок руководствуются «Правилами установки, содержания и освидетельство-

[illegible]

[illegible] ...ная служба станции и энергетической системы

[illegible] ...обенностью) административного управления [illegible] ...ми установками является диспетчерская служба [illegible] находящиеся в составе металлургических заводов, [illegible] ...лированы, а работают в сеть общей энергетической системы данного района. При этих условиях без централизованного диспетчерского управления работа станций практически невозможна.

[illegible] ...же несогласованное переключение вызвало бы аварию. [illegible] вывод в ремонт крупных агрегатов без разрешения диспетчера мог бы сделать невозможным покрытие максимума нагрузки.

Интересы отдельных станций часто находятся в противоречии друг с другом и с системой в целом. Например, условия наибольшей экономичности системы во многих случаях требуют, чтобы отдельные станции работали при режимах, им невыгодных (обычно станции, имеющие высокий к.п.д., работают при нагрузках, превышающих ее экономическую мощность, станции низкого к.п.д. получают нагрузку ниже экономической).

Режим системы должен удовлетворять следующим требованиям:

1) выполнить государственный план выработки энергии и покрытия максимума;

2) обеспечить бесперебойность и надежность работы системы;

3) обеспечить должное качество энергии в системе (частота, напряжение, давление и температура пара, отпускаемого на производство, температура воды в тепловых сетях);

4) обеспечить максимальную экономичность работы всей системы с учетом максимального использования местных энер-



гетических ресурсов (отбросного тепла печей, газа, коксовой мелочи и т. д.).

Оперативное руководство работой всех элементов системы и разработкой режимов осуществляется диспетчерской службой.

Во главе службы стоит главный диспетчер. Служба имеет в своем составе диспетчерскую группу, состоящую из сменных диспетчеров и групп режимов, которая определяет наиболее экономичный и целесообразный режим системы и всех станций в отдельности.

При разработке режима эксплоатации системы составляют следующие документы: 1) годовой план ремонтов основного оборудования станции, сетей, 2) графики располагаемой мощности электростанций и сетей с учетом ремонтов и сезонных изменений нагрузок, 3) суточные типовые графики системы и станций в отдельности, 4) распределение напряжений и потоков мощности в сети, 5) нормальную схему коммутации системы и станций.

В нормальных условиях диспетчерская служба составляет суточные графики активных и реактивных нагрузок и их распределение между станциями, контролирует выполнение станциями заданного графика, следит за частотой, регулирует напряжение, руководит переключениями в системе, выводит оборудование системы в ремонт и резерв.

Особое значение имеет работа диспетчера в периоды аварий. Диспетчер является единоличным руководителем ликвидации аварий, влияющих на работу системы. Диспетчерское руководство ликвидацией аварии заключается в выявлении места и размера аварии, составлении плана ликвидации, руководстве операциями по восстановлению нормальной работы.

На электростанциях диспетчеру непосредственно подчинен дежурный инженер, который обязан беспрекословно выполнять все распоряжения диспетчера, если они не грозят опасностью персоналу и оборудованию. Дежурный инженер является ответственным руководителем эксплоатации станции, подчиненным в оперативном отношении диспетчеру системы.

Весьма ответственной процедурой является прием и сдача смены, начиная от дежурного инженера и кончая дежурным у отдельных агрегатов. Согласно «Правилам технической эксплоатации» (§ 1220) дежурный, принимая смену, обязан:

1) ознакомиться с состоянием оборудования и его схемой включения;

2) узнать, какое оборудование в ремонте и в резерве;

3) узнать у сдающего смену дефекты и слабые стороны действующего оборудования;

4) проверить и принять инструменты, материалы, ключи от помещений, журналы и ведомости;

[illegible]

[illegible] и [illegible] схем [illegible] вести [illegible] и [illegible] место для ремонт [illegible] и принимать оборудование из ремонтов

[illegible] дежурным [illegible] является важнейшим средством предупреждения аварий

При производстве ремонтов вблизи действующего оборудования дежурный персонал должен вести наблюдение за соблюдением рабочими правил техники безопасности. Принимать участие в работе дежурный персонал не имеет права. Самостоятельно он может производить устранение лишь мелких неполадок. Это правило введено, чтобы не отвлекать дежурного от его основной работы по эксплоатации.

Все свои действия и замечания дежурный персонал должен записывать в книгу цеха для записи ремонтов и неисправностей, которую ежедневно утром просматривает ремонтный мастер, чтобы тотчас же принять меры по устранению неполадок. Записи играют большую роль в организации эксплоатации станции.

### 6. Аварийная профилактика на станции

Технически грамотная правильно организованная эксплоатация станции обеспечивает безаварийную работу. Таким образом предупреждение возможности аварий не является на станции обязанностью специально выделенного лица, но всего персонала станции. Аварии не возникают сами по себе, они происходят по вине людей, другими словами за каждой аварией стоит определенная группа лиц, по вине которых авария возникла. Неправильные действия эксплоатационного персонала, плохой ремонт, [illegible] установленная защита, некачественный монтаж [illegible] — все это сводится к действиям людей.

[illegible] профилактика — это в первую очередь борьба [illegible] квалификации персонала и знание им оборудования [illegible]

[illegible] по причинам возникновения их можно разделить [illegible] 1) аварии по непосредственной вине персонала, [illegible] недоброкачественного ремонта, 3) аварии по [illegible] дефектов оборудования



Первая группа аварий по вине персонала возникает не по случайному стечению обстоятельств, а по определенной причине. Недостаточный инструктаж, незнание правил эксплоатации и основных схем, допуск необученных и не вполне здоровых лиц к управлению агрегатами, низкая трудовая дисциплина являются основными причинами возникновения подобных аварий.

Причины этих аварий следует искать также в плохой организации эксплоатации лицами, непосредственно отвечающими за данный участок. Аварии от недоброкачественного ремонта свидетельствуют или о неумении произвести ремонт, или о недоброкачественной и безответственной работе, а также плохой постановке приемки ремонтных работ и нарушении графика планово-предупредительного ремонта.

Третий тип аварий — по причине дефектов оборудования — должен быть изучен с большой тщательностью и обязательно найдена причина, которую необходимо довести до сведения завода-изготовителя.

После установления причин аварий необходимо рассмотреть их на производственных совещаниях цеха, в котором произошла авария.

На основании изучения аварий создается в каждом цехе целый ряд мероприятий, которые под названием противоаварийных входят в план работ цеха и выполняются безоговорочно в первую очередь.

Опыт аварийной профилактики отражается в специальных сборниках аварийных циркуляров, издаваемых Министерством электростанций. Аварийность в значительной степени является следствием невыполнения правил по технике безопасности и инженером по аварийной профилактике должна быть установлена взаимосвязь в работе.

Важнейшим видом аварийной профилактики является работа над повышением квалификации персонала.

Функции по наблюдению за выполнением противоаварийной профилактики возлагаются на инженера по аварийной профилактике. Он же обязан производить разбор и расследование аварий.

Инженеру по аварийной профилактике присвоены права, необходимые ему для успешного выполнения возложенных на него обязанностей. Он имеет право получить все необходимые ему материалы из цехов и производить опрос персонала тотчас после аварии. В случае несогласия главного инженера станции с выводами сделанными инженером по аварийной профилактике, последний может обратиться в вышестоящую инстанцию.

В функцию инженера по аварийной профилактике входит повседневная корректировка противоаварийных инструкций.

## 7. Организационная схема управления станции и цеха

В [illegible] металлургических заводов ТЭЦ обычно входит в состав [illegible] отделов и цехов.

В Мин[illegible] металлургической промышленности имеется Главное энергетическое управление, которое ведет техническое

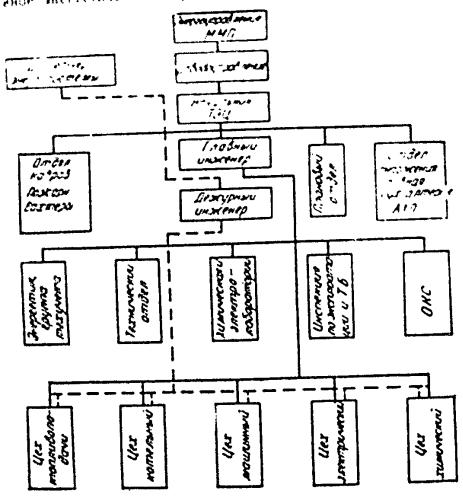



Рис. 87. Схема управления крупной ТЭЦ

руководство заводскими ТЭЦ. В хозяйственном отношении ТЭЦ подчинена заводоуправлению, а в оперативном главному диспетчеру системы.

Ориентировочная схема управления ТЭЦ приведена на рис. 87. На ТЭЦ металлургического завода пять цехов: топливоподачи, котельный, химический, машинный, электроцех.

Топливно-транспортный цех, механическая мастерская, ремонтно-строительный цех объединены с соответствующими заводскими отделами.



Во главе ТЭЦ стоит начальник, в непосредственном подчинении которого находится плановый и хозяйственный отделы. Техническое и оперативное руководство начальник ТЭЦ осуществляет через главного инженера, рабочим аппаратом кото-

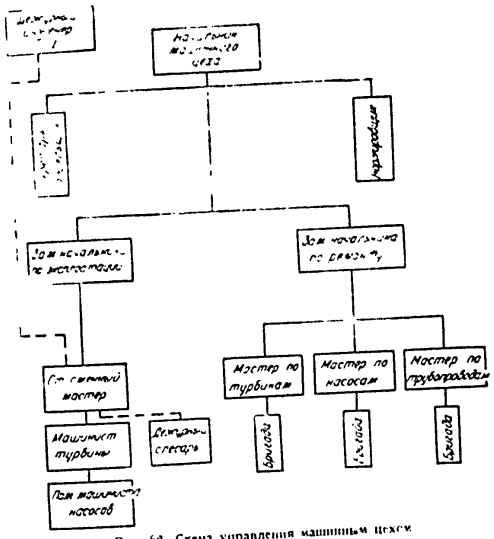



Рис. 88. Схема управления машинным цехом

рого является технический отдел. Основной производственной единицей является цех. Начальники цехов подчиняются непосредственно главному инженеру. Схема управления одного из цехов — машинного — приведена на рис. 88.

Весь персонал ТЭЦ разделяется на эксплоатационную и ремонтную группы.

Эксплоатационная группа ведет оперативную работу и осуществляет уход и надзор за оборудованием. Ремонтная группа производит ревизию [illegible] оборудования. Все оборудование

станции разграничена между цехами, а внутри цеха — между мастерами ремонтных групп по территориальному признаку.

Мастер отвечает за состояние оборудования в пределах своего участка.

Дежурный персонал цеха в административно-техническом отношении подчинен начальнику цеха, в оперативном исполняет распоряжения дежурного инженера, как было указано ранее.

## 8. Стахановские методы обслуживания теплосиловых установок

Развитие стахановских методов труда требует прежде всего соответствующих организационно-технических мероприятий, обеспечивающих максимальную производительность при минимальных затратах труда. В начале развития стахановского движения вопросы организации труда и рабочего места были делом отдельных выдающихся мастеров труда. В настоящее время эти вопросы являются неотъемлемой частью суммы мероприятий, решающих правильную эксплоатацию агрегатов.

Рациональная организация рабочих мест и передовых методов труда должны предусматриваться, начиная с проектирования станции с последующим совершенствованием этих мероприятий. Изменение отношения рабочего к труду в условиях социализма и переходного периода к коммунизму в нашей стране и повышение технической культуры открывают широкие возможности оснащения рабочего места техническими средствами, обеспечивающими высокую производительность труда. Простые трудовые процессы, требующие физического труда, сводятся, таким образом, к минимуму. Изучение трудовых процессов во время работы дает возможность ликвидировать лишние движения, упростить их, сведя в ряде случаев к автоматическому или централизованному управлению механизмами.

Рабочие места на теплосиловой установке можно разделить на **простые**, где обслуживание ограничивается одним механизмом, и **сложные**, где работающий управляет крупными агрегатами или группой агрегатов. Сложное рабочее место может включать ряд простых рабочих мест.

Например, старший кочегар или теплотехник, управляя несколькими котлами и другими вспомогательными агрегатами, руководит также рабочими, находящимися на простых рабочих местах. Улучшение управления агрегатами ведет к постепенной ликвидации простых рабочих мест и сводит управление установкой к немногим сложным рабочим местам, снабженным централизованным автоматическим управлением.

Рабочее место должно быть оснащено техническими средствами управления и связи, полностью устраняющими лишние



движения и тяжелое физическое напряжение. Средствами для достижения этого являются, например, электропривод крупных задвижек, автоматические пускатели, кнопочное управление, машинный телеграф, телефон и, наконец, автоматизация. На каждом рабочем месте должны быть вывешены чертежи и схемы, дающие понятие об основных деталях оборудования и взаимной связи между агрегатами. Все производственные операции, их последовательность, наилучшие способы выполнения должны быть установлены определенными инструкциями. На каждый участок, агрегат, рабочее место должно быть дано определенное задание, чтобы каждый работающий мог вполне сознательно стремиться к осуществлению оптимального режима работы агрегата и перевыполнению плана выработки.

Продуктивная и безаварийная работа предполагает жесткую производственную дисциплину, порядок и чистоту на рабочем месте.

Технический контроль за работой на отдельных рабочих местах осуществляется путем документации — технической отчетности. Техническим документом являются ведомости, заполняемые каждые 15 или 30 мин.

Лучшим способом вполне объективного контроля следует признать самопишущие приборы, которые освобождают работающего от записей и дают независимо от работающего истинные показатели его работы.

Каждое рабочее место должно быть обеспечено необходимым комплектом инструментов (ключи, приспособления и т. д.), которые должны быть размещены в специальных ящиках или на специальной доске.

Вспомогательное рабочее место, например дежурного ремонтного слесаря, должно быть оборудовано верстаком, иногда даже переносным, и переносными ящиками для инструмента. При крупных установках рабочее место может быть оборудовано как небольшая ремонтная подвижная станция, имеющая несложные рабочие машины.

Обслуживание рабочих мест должно обеспечивать подачу к месту работы вспомогательных и смазочных материалов, передачу заданий, питание рабочего места светом и энергией, плановую проверку, уход и надзор за оборудованием. Этот вид обслуживания касается не только персонала, работающего в производственных цехах, но также технического отдела, разрабатывающего инструкции и схемы, отдела снабжения, кладовой и транспорта.

Стахановск[illegible]аничивается лишь организационн[illegible]ыми мер[illegible] рабочие, техники и инженеры [illegible]м новой техники, повышаю[illegible] станций. Старшие кочегары

станций [illegible] обслуживания [illegible] пяти крупных котлов. Мощности турбин [illegible] работу так, что один человек обслуживает две турбины и т. д. таким образом осуществлен принцип многостаночного обслуживания. На основании тщательного изучения своих рабочих мест они предлагают ряд новых устройств упрощающих работу обслуживающего персонала (автоматизация, дистанционное управление, телефонизация, разметка указателей положения шиберов на воздухо-и газопроводах и т. д.)

Детальное изучение характеристик оборудования позволяло значительно поднять экономичность станций.

Одним из важнейших мероприятий, повышающих экономичность установок, является правильное распределение нагрузок между агрегатами. Для этого предложен метод относительного прироста для распределения нагрузки между агрегатами станции.

Метод заключается в следующем. Как известно, зависимость расхода пара, например турбиной, от нагрузки изображается характеристикой турбины (см. рис. 24).

Если мощность турбины возрастает на величину $\Delta N$, то соответственно возрастает и расход пара на $\Delta D$. Отношение $d = \frac{\Delta D}{\Delta N}$ условно называется относительным приростом расхода пара на киловатт-час.

На графиках (рис. 89) взяты характеристики двух турбин № 1 и 2. Величина относительного прироста остается постоянной, пока не изменен угол наклона линии, изображающей характеристику. Поэтому если на том же графике (рис. 89) изобразить характер изменения относительно прироста в зависимости от изменения нагрузки, то это будут прямые $a_1$, $b_1$, $c_1$, $d_1$ и $a_2$, $b_2$, $c_2$, $d_2$. Расход на холостой ход для двух и более параллельно работающих агрегатов — величина постоянная, не зависящая от нагрузки. Поэтому на характер изменения расхода пара будет влиять только угол наклона линии, изображающей характеристику, от которого будет зависеть и величина относительного прироста. Чем больше угол наклона, тем больше относительный прирост, а следовательно, и увеличение расхода пара в *кг/квт*. Поэтому целесоообразно в первую очередь нагружать параллельно работающие агрегаты с меньшим относительным приростом. В данном случае (рис. 89) сначала № 2, а затем уже № 1.

Это даст возможность разработать для дежурного инженера шкалу относительных приростов для действующих турбогенераторов (рис. 90). Из шкалы видно, что вначале, например, должна быть загружена турбина № 2 до экономической мощности, затем турбина № 1 до экономической мощности, затем турбина № 2 до полной мощности и, наконец турбина № [illegible]



до полной мощности. Метод имеет универсальное значение и может быть применен для распределения нагрузки между котлами паровыми мельницами и т. п. и частично даже между станциями имеющими один и тот же вид топлива.

Большая работа проделана при сотрудничестве эксплоатационного персонала и научно исследовательских институтов по угрублению помола при сжигании угля в пылевидном состоянии.

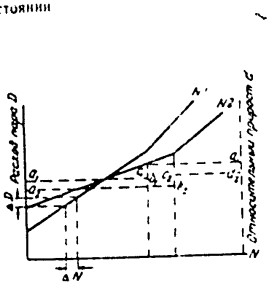



Рис. 89. Характеристики турбин

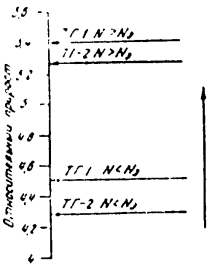



Рис. 90. Шкала относительных приростов.

Угрубление помола, с одной стороны, резко снижает расход энергии на размол за счет повышения производительности мельниц, а с другой — ухудшает сгорание топлива. Нахождение наивыгоднейшей тонины помола составляло сложную задачу, которая успешно решена. Так, например, для подмосковных и челябинских углей помол с остатка 3—6% на сите № 30 угрублен до остатка 25—30%. Для антрацитового штыба соответственно угрубление доведено до 5—6% вместо 0,2—0,3% на сите № 30. Можно считать, что на некоторых станциях Министерства металлургической промышленности окончательно решен вопрос жидкого шлакоудаления, что позволило повысить к.п.д. котла с 82—83 до 84—86%.

Огромная работа проделана стахановцами рабочими и инженерами по борьбе со шлакованием топочных камер. Предложены новые типы горелок для пыли (ЦКТИ, ОРГРЭС), холодные воронки [illegible] с помощью струи воздуха давлением 500—600 [illegible] ха через кладку котла и неплот- [illegible] тиве стахановцев одной из ГРЭС,

[illegible]

[illegible] путем [illegible] подогрева питательной воды на 10°С дает экономию [illegible] в 0,4%. Отвод воздуха из подогревателей высокого давления снизил число случаев повреждения [illegible]

Борьба с переохлаждением конденсата путем устранения засосов воздуха в конденсатор и регулирования работы циркуляционных насосов дало возможность значительно улучшить вакуум и тем самым значительно поднять экономичность установок, так как каждые 7° переохлаждения дают 1% экономии топлива по установке в целом.

На многих станциях ММП большим недостатком является высокая температура воды в брызгальных бассейнах в летнее время

Предложения стахановцев по смене сопел типа П-16 на сопла ударного центробежного типа, которые почти не засоряются и лучше разбрызгивают воду, хлорирование воды с помощью хлорной извести, продувка разводящих труб, образование воздушных коридоров — значительно улучшило работу брызгальных бассейнов.

Бесчисленны вопросы, над которыми должны работать стахановские коллективы теплосиловых установок, идя по пути увеличения надежности и экономичности установок.

Важнейшим является вопрос постоянного самоусовершенствования и непрерывного повышения квалификации, для чего создана широкая сеть курсов и кружков для обучения без отрыва и с отрывом от производства

## 9. Организация ремонтов теплосиловых установок

Ремонт оборудования теплосиловых установок осущест[illegible]ется по системе планово-предупредительного [illegible]монта. Основными чертами, характеризующими эту [illegible] являются:

1) периодические осмотры и проверки,

2) ликвидация дефектов в оборудовании на основании результатов осмотра

3) контроль за правильной эксплоатацией оборудования

Основной трудностью в организации планово-предупредительного ремонта является определение сроков службы отдельных деталей установленного оборудования. Для этой цели должна быть проведена паспортизация и введена система регистрации ремонтов и объема таковых с использованием опыта работы родственных предприятий. Вся эта на первый взгляд, сложная система полностью себя оправдывает, уменьшая намного парк необходимых запасных частей и обеспечивая своевременное изготовление деталей

По объему работ ремонты делят на четыре группы а) текущий — собственно планово-предупредительный, б) капитальный, в) реконструктивный, г) аварийный

**Текущий ремонт** является основным видом ремонта, предполагающим смену изношенных деталей без длительной остановки агрегата. К этой же группе могут быть отнесены все ремонты, производимые на ходу, без остановки агрегата.

**Капитальный ремонт** предполагает смену и ремонт всех изношенных деталей с более или менее длительной остановкой агрегатов и последующей выверкой и испытанием. Основой капитального ремонта, повышающего надежность и срок службы оборудования, является безоговорочный останов оборудования для ремонта при наступлении срока остановки по плану.

**Реконструктивный ремонт** есть разновидность капитального, однако с существенными изменениями конструкции оборудования, направленными на улучшение его работы.

**Аварийный ремонт** возникает внезапно, в результате стихийного бедствия или поломки. В последнем случае аварийный ремонт доказывает плохое качество планово-предупредительного ремонта или небрежную эксплоатацию.

Для правильной постановки ремонтного дела прежде всего необходимо провести работу по учету деталей, требующих замены. Спецификацию деталей следует составлять на основании изучения работы действующих механизмов.

На каждый агрегат должен быть изготовлен паспорт, в который заносят основные характеристики агрегата и сроки износа деталей. К паспорту прилагают чертежи сменных деталей. [illegible]ие детали было начато заблаговременно и де[illegible] к моменту начала ремонта, в паспорте долж[illegible]ремя, необходимое на изготовление детали. [illegible]мены можно легко определить количество [illegible]торые должны храниться на складе. С точ[illegible]едупредительного ремонта наиболее вы-

Таблица 19

**Время простоя на ремонтах паровых котлов в зависимости от поверхности нагрева и топочного устройства**

| Топ[illegible] | Поверхность нагрева | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | [illegible] м² | | | 500—750 м² | | | 750—1000 м² | | | 1000 м² | | |
| | капитальный ремонт | текущий ремонт | всего дней | капитальный ремонт | текущий ремонт | всего дней | капитальный ремонт | текущий ремонт | всего дней | капитальный ремонт | текущий ремонт | всего дней |
| Ручная решетка | 8 | 18 | 26 | 9 | 20 | 29 | — | — | — | — | — | — |
| Механическая решетка А ПККН | 10 | 20 | 30 | 2 | 20 | 32 | 14 | 20 | 34 | 16 | 22 | 38 |
| Прочие механические решетки | 12 | 20 | 32 | 13 | 20 | 33 | 1 | 20 | 34 | 16 | 22 | 38 |
| Пылевидное топливо | 10 | 20 | 30 | 12 | 20 | 32 | 13 | 20 | 33 | 14 | 20 | 34 |
| Жидкое топливо | 9 | 15 | 24 | 10 | 17 | 27 | 12 | 17 | 29 | 14 | 18 | 32 |

Таблица 20

**Время простоя на ремонтах паровых турбин в зависимости от мощности и числа цилиндров**

| Мощность мвт | Паровые турбины | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | трехцилиндровая | | | двухцилиндровая | | | одноцилиндровая | | |
| | капитальный ремонт | текущий ремонт | всего дней | капитальный ремонт | текущий ремонт | всего дней | капитальный ремонт | текущий ремонт | всего дней |
| 14—55 | 13 | 10 | 23 | 12 | 9 | 21 | 12 | 8 | 20 |
| 16—30 | 11 | 9 | 20 | 10 | 9 | 19 | — | — | — |
| 8,6—16 | — | — | — | 9 | 9 | 18 | 8 | 8 | 16 |
| 4,6—8,6 | — | — | — | 8 | 8 | 16 | 7 | 7 | 14 |
| 1—4,5 | — | — | — | 7 | 8 | 15 | 6 | 7 | 13 |

В объем капитального ремонта котла, производимого один раз в год, включают: внутреннюю и наружную чистку, смену поверх[illegible]ных труб, ремонт арматуры, обмуровки, [illegible]ососов с заменой роторов, горелок, [illegible]омайзеров, воздухоподогревателей, [illegible] (питатели пыли, эксгаустеры, вен

[illegible] текущего ремонта [illegible] включают: чистку [illegible] монт футеровки, реви[illegible] ремонт или зам[illegible] аппаратов золоудален[illegible] подогревателей, ревизию и [illegible]

[illegible] бъем капитального ремонта [illegible] один раз в год, включают [illegible] замер зазоров и определ[illegible] борку и приведение в порядок [illegible] фрагм, если таковая понадобится [illegible] денсаторных труб, чистку и замену [illegible] ровку, испытание после ремонта.

В объем текущего ремонта, прои[illegible] год, включают: вскрытие одного или [illegible] зоров, чистку и ремонт арматуры, [illegible] ний, перенабивку сальников вспомогательных [illegible] всего агрегата.

Ремонт крупного агрегата произво[illegible] На пример, при ремонте котла производится ремонт все[illegible] вспомогательного оборудования (мельниц, дымососов, вентиляторов и т. д.). При ремонте турбогенератора останавливают на ремонт все [illegible] вспомогательные механизмы (конденсатные и циркуля[illegible] насосы, эжекторы, баки, трубопроводы и т. д.).

Такая [illegible] преждает вынужденную остановку главного агрегата [illegible] неполадок на вспомогательном оборудовании, [illegible] простоя на ремонте.

В [illegible] струкции турбины, установленные на ТЭЦ [illegible] для изготовления запасных частей [illegible] заводам, специализирующимся на из[illegible] готов[illegible] запасных частей.

П[illegible] ремонта требует серьезного внимания и т[illegible] ремонта. Приемка должна произво[illegible] диться [illegible] ром теплосиловой установки.

О[illegible] ставляется акт. После ремонта про[illegible] ления дефектов на ходу агрегата, [illegible] на основании испытаний соста[illegible] агрегата. Такие характеристики мо[illegible] Особенно требовательно сле[illegible] после аварийного ре[illegible]

[illegible] требует образцовой поста[illegible] ется ремонтный журнал, [illegible] в процессе ре[illegible] каждого агрегата. Для

[illegible]

[illegible] техническое обучение [illegible] в процессе ремонта [illegible] отдельных курсах. В [illegible] предложени[illegible] Объяснение [illegible] бдительность руководящего пер[illegible]

[illegible] актов, составленных до ремонта, актов приемки испытания, а также наблюдений над поведением агрегатов в процессе эксплоатации, проводимое техническим отделом, дает богатый материал для улучшения техники ремонта, ибо в процессе такого изучения легко обнаруживаются все ошибки, сделанные персоналом в части предположений о причинах неисправностей и методов ремонта. На основании этого изучения должны быть введены поправки в графике ремонта.

## 10. Повреждения и ремонт котельных агрегатов

### Гидравлическое испытание

Основным способом обнаружения скрытых, незаметных при наружном осмотре, дефектов котла служит гидравлическое испытание. Гидравлическим испытанием обнаруживаются следующие дефекты: неплотность швов в клепаных барабанах, неплотности в местах развальцовки кипятильных труб, неплотности в приварке или приклепке фланцев, патрубков и т. п.

Гидравлическое испытание производят следующим образом. Котел отключают от магистрали проверенным вентилем. Закрывают спускные, продувочные и прочие краны, создавая полную плотность. Предохранительные клапаны заклинивают.

Через одно из отверстий котел доверху заполняют водой (второе отверстие необходимо оставить для выхода воздуха), после заполнения котла водой отверстие закрывают заглушкой. Водомерные стекла выключают. К верхней точке котла при помощи труб присоединяют гидравлический насос. Рядом с действующим манометром на свободный фланец инспектор Котлонадзора [illegible] рольный манометр

[illegible]

[illegible] при тем[illegible]
[illegible]ление и[illegible]
[illegible] давлен[illegible]
[illegible] обнаруж[illegible]
Если течь [illegible]
[illegible]тся В швах [illegible]
[illegible] рабочего д[illegible]
[illegible]ительные д[illegible]
[illegible]ления и не [illegible]
[illegible]ются затиркой [illegible]
Более серьез[illegible]
[illegible]еканкой швов и [illegible]
[illegible]еканкой под д[illegible]
[illegible]амические кол[illegible]
другим соединен[illegible]
Когда все де[illegible]
[illegible]дить по отсутствие [illegible]
5 *ата* или плюс 25 [illegible] Если
при этом котел не [illegible] что он
выдержал испытание [illegible]
Частые испытания [illegible] производим рабо-
чее, вредно отзывают[illegible] расстрой-
ству даже хороших [illegible]
Спуск воды из к[illegible] должен производить
медленно, во избежание [illegible]. Для этого сле-
дует понижать давление [illegible] было ха-
рактерного треска. При [illegible] сравнивают пока-
зания контрольного и [illegible] манометров с целью
проверки.
Испытание котла давлением [illegible] может быть осуществлено с
помощью питательных насосов [illegible] повышением давления до рабо-
чего. Окончательным испытанием котла является проверка его в
рабочем состоянии давлением пара. Для этого медленно поднима-
ют давление пара до 5—6 *ата* (для котлов, работающих при
33 *ата*), производят подтяжку болтов фланцев и т. п., которые
в горячем состоянии ведут себя иначе, чем при испытании гид-
равлическим способом. Расширение котла при нагревании дает
различные деформации и сдвиги, часто непредвиденные и вне-
запные. При достижении рабочего давления пара производят ре-
гулировку предохранительных клапанов.



## Повреждения барабанов котлов и их причины

Повреждения барабанов котлов встречаются относительно редко [illegible] гораздо опаснее других повреждений.

Наиболее часто встречающиеся повреждения — неплотности в заклепочных швах, трещины в барабане, разъедание стенок барабанов и заклепочных головок.

Неплотность в заклепочном шве может быть вызвана неправильной [illegible] ной стыков при сборке барабана и неправильной посадкой [illegible] но особенно частой причиной являются температурные напряжения. Большая разница температур на-[illegible] котлов, когда между частями одного и того же барабана разность температур может достигать 100—150°. При этом более нагретые части барабанов расширяются больше, и барабан коробится. Разница в температурах стенок котлов, особенно в нижнем барабане, может быть объяснена отсутствием циркуляции. Быстрые растопки и остановки также вызывают напряжение в заклепочных швах.

Трещины в барабанах котлов всегда имеют место в заклепочных швах и в днищах. Трещины от появляющихся добавочных напряжений встречаются в продольных швах клепаных барабанов. В поперечных швах и в швах, расположенных в паровом пространстве, трещины образуются реже. Это объясняется тем, что при растопке и работе котла продольные швы подвергаются более сильным напряжениям, а швы в водяном и паровом пространстве менее подвержены изменениям температур.

Заклепки разрушаются обычно от поперечных трещин, вызывающих отскакивание головки. Трещины появляются также в виде лучей у заклепочного отверстия. Удлиняясь, эти трещины могут пересекать одно, два и даже три заклепочных отверстия.

Вначале трещины имеют вид мелких щелей — «волосовин». Для обнаружения трещин поверхность металла надо зачистить до блеска и протравить. Трещины в сварных швах барабанов являются результатом недоброкачественной сварки и обычно выявляются, когда появляется течь в шве. Сравнительно часты трещины в днищах барабанов, особенно подвержены этому днища с малым радиусом загиба в месте перехода от цилиндрической к сферической части. Загиб борта — место образования трещин. При образовании трещин в днищах исправление их невозможно и днища подлежат замене.

Трещины в наиболее напряженных частях парового котла могут образоваться по границам зерен металла как результат разрушения под влиянием котловой воды повышенной щелоч-

[illegible]

[illegible] в мокром состоянии [illegible] трапок. [illegible] консервированные котлы стоянде [illegible] для сохранения от коррозии необходимо [illegible] высушить.

## Повреждение кипятильных экранных и пароперегревательных труб

Большинство повреждений котельных агрегатов приходится [illegible] кипятильные, экранные и пароперегревательные трубы. Основными видами повреждений труб являются: а) образование [illegible] и свищей, б) внутренняя и внешняя коррозия труб; [illegible] стенок труб снаружи, г) изгиб труб и вырывание их [illegible] д) трещины в местах развальцовки.

[illegible] на трубах образуются от чрезмерного повышения [illegible] стенок при недостаточном охлаждении с водяной [illegible] стороны труб, обогреваемых снаружи топочными [illegible] перегреве металла он становится вязким и от внутреннего [illegible] выпучивается наружу, образуя отдулину, которая увеличивается, а затем разрывается. Иногда разрыв в центре отдулины образуется свищ.

[illegible] труб могут быть загрязнения, препятствующие соприкосновению воды с поверхностью. Кипятильные и экранные трубы загрязняются в них накипью и шламом, а пароперегревательные [illegible] уносимыми из барабана котла вместе с



Даже незначительные отложения накипи в кипятильных и экранных трубах и солей в трубах перегревателей вызывают в современных теплосиловых установках большое количество аварий из-за появления отдулин и пережогов труб.

Поэтому прежде всего должны быть приняты меры к тщательной подготовке котловой воды для предотвращения накипеобразований. Причиной перегрева металла труб могут быть образования «паровых мешков», вследствие скопления паровых пузырьков при недостаточной циркуляции воды в трубах.

Накипь способствует образованию паровых мешков, так как шероховатая поверхность трубы препятствует отрыву пузырьков пара. Перегрев металла труб пароперегревателя происходит из-за чрезмерно высокой температуры пара. В среднем температура пара в современных установках составляет 425°С при температуре стенки трубы 470—485°С. Углеродистая сталь применяемая для пароперегревателей, рассчитана на длительную работу при температурах до 500°С. Наличие небольшого запаса по температуре создает очень тяжелые условия работы пароперегревателя.

Недостаточная скорость пара в пароперегревателе может быть также причиной перегрева металла труб, так как при малых скоростях теплоотдача недостаточна, а следовательно, недостаточно и охлаждение. Кроме того, при малых скоростях создаются благоприятные условия для осаждения солей на внутренней поверхности.

Внутренняя коррозия труб часто является следствием соприкосновения стенок с перегретым паром при температуре 400°С и выше. Внешняя коррозия труб часто называется газовой коррозией и вызывается действием на металл газов при высоких температурах. Чем выше температура газов, тем действие на металл интенсивнее.

Износ наружных стенок труб летучей золой имеет место в большей степени при сжигании многозольных топлив. Особенно большой износ наблюдается при сжигании подмосковного угля и сланцев в пылевидном состоянии.

Износ труб зависит от направления потока дымовых газов. Различные детали, лежащие на пути потока летучей золы (хомутики, газовые перегородки и т. д.) часто концентрируют поток и создают условия для местного износа. Так как износ весьма равномерен, то обнаружить его без специальных замеров очень трудно. Износы труб могут иметь место также в следующих случаях: при длительной работе котла со свищами в кипятильных и перегревательных трубах (свищ разрушает соседние трубы); при неправильной работе обдувочных устройств, когда пар бьет в трубу с близкого расстояния сосредоточенной струей, или когда струя пара длительное время бьет в одно и то же место.

Борьба с [illegible] кипятильных труб [illegible] изолятия [illegible] и неисправных обдувок [illegible] [illegible] давлениях, в первых, путем улучшения качества [illegible] воды, чтобы избежать образования накипей в местах [illegible] накипи и во вторых поддержанием в исправном состоянии обдувочных устройств. Износ труб летучей золой при сжигании угля в вытяжном состоянии можно снизить улучшением процесса сгорания в топке.

В ряде случаев введение так называемого острого дутья может значительно способствовать отложению летучей золы в топке и уменьшить [illegible] (острым дутьем называется поток воздуха, направляемый со значительной скоростью перпендикулярно потоку газов в топке.

Износ кипятильных труб происходит в тех случаях, когда [illegible] имеет достаточной возможности удлиняться независимо [illegible]

[illegible] изгиб не опасен, но при сильном изгибе возможно [illegible] концов труб. Трубы пароперегревателя находятся в [illegible] условиях работы, но их конструкция [illegible] возможности легче воспринимать [illegible] поэтому вырывания труб из [illegible] изгибаются и отклоняются [illegible] шахматное переплетение, которое способствует [illegible] и требует вырезывания труб и установки новых секций.

### Повреждение труб в местах развальцовки

Причины повреждения труб при развальцовке следующие:

1. Различная твердость металла трубы и гнезда, отсюда смятие мягкого металла, при сильной раздаче во время вальцовки и образования трещин.
2. Перекос вальцовки и неодинаковое косое обжатие материала может вызвать образование трещин.
3. Односторонее обжатие при развальцовке вызывает изгиб трубы вблизи гнезда.
4. Острые кромки ролика вальцовки вызывают **подрезы**, в месте которых может образоваться трещина.
5. Неправильно произведенная отбортовка трубы (мал выпущенный конец, мал угол разбортовки и т. п.) вызывает трещины вид надрыва колокольчика.

[illegible] видом трещин являются **кольцевые**.

[illegible] образования кольцевых трещин может быть отсутствие расширения труб и вследствие этого как бы [illegible] развальцовки, поэтому при пуске котла [illegible] возможность расширения системы труб



котла и экранов. Плохая, неумелая вальцовка также может быть причиной кольцевых трещин.

Кроме того причиной образования кольцевых трещин может явиться вибрация кипятильных труб и экранов, поэтому длинные трубы, особенно экранные, должны быть закреплены в средней части.

К другим причинам относятся перегрев металла при обжиге концов труб, неплотность вальцовки и воздействие в этих местах воды и газов, низкое качество металла с содержанием серы и фосфора.

При появлении кольцевых трещин следует при эксплоатации котла руководствоваться специальной инструкцией.

Поврежденные трубы могут быть отремонтированы на месте. К такого рода ремонтам можно отнести:

а) исправление неразорвавшихся отдулин на кипятильных, экранных и пароперегревательных трубах,

б) исправление труб нижних экранов (грануляторов), изогнутых глыбами падающего шлака,

в) наварку изношенных наружных стенок труб.

Перед исправлением отдулин необходимо опорожнить котел, установить подмости, очистить котел от шлака и золы и плотно закрыть поврежденную трубу, чтобы в ней не было циркуляции охлаждающего воздуха. Ацетиленово-кислородной горелкой место отдулин разогревается до красного каления и ручным молотком доводится до нормальных размеров заподлицо с трубой. После этого сварщик наплавляет на поврежденное место слой мягкого металла толщиной 2—3 *мм*. Изогнутые участки грануляторов также нагревают и выравнивают с помощью талей, лебедки или рычага.

Трубы с изношенными снаружи стенками наплавляют как указано было выше. Если толщина стенки наплавляемой трубы меньше 2—3 *мм*, труба будет прожжена при наплавке.

Смену поврежденных труб производят следующим образом: опорожнив и обсушив котел, выколачивают отмеченные трубы. Для выколачивания трубы служит выколотка — кусок стали длиной 200—250 *мм*, диаметром равным внешнему диаметру трубы на длине примерно 100 *мм*. В остальной части диаметр выколотки меньше диаметра трубы на 6—7 *мм*. Утолщенный конец выколотки имеет заточку длиной 40—45 *мм*, равную внутреннему диаметру трубы.

Выколотку ставят так, чтобы заточка вошла внутрь трубы, и, придерживая ее за ручку, ударами кувалды выбивают трубу. Затем концы труб, выколоченных из одного барабана, отводят в сторону и выколачивают другие концы труб из другого барабана. Трубы удаляют через специальные люки, оставленные в обмуровке котла.

Новые трубы обычно отрезают по шаблонам. Концы отжигают нагревом их [illegible] начинают вальцовкой на длине 50—60 мм и затем вставляют в гнезда барабана так, чтобы внутрь барабана конец трубы выступал на 8—10 мм.

Гнезда в барабане должны быть очищены шкуркой и не должны иметь ни [illegible] трубу в гнезде до начала вальцовки можно хомутиком надетым на конец трубы, или легкой разжимкой конца трубы.

Развальцованная труба должна плотно сидеть в гнезде, поэтому ролики вальцовки на длине должны быть больше толщины стенок барабана.

Внутри перед вальцовкой трубы надо смазать маслом, наблюдая, чтобы оно не попало между трубой и гнездом, так как при нагреве котла масло выгорит и [illegible] отчего образуются неплотности и течь в местах развальцовки.

Ремонт пароперегревателя приходится выполнять в двух случаях: если имеется пропаривание в месте вальцовки или имеется свищ в трубке. Дефектные трубы можно обнаружить гидравлическим испытанием, однако точно определить, какая трубка течет, бывает трудно. Целесообразно подвальцовать всю группу вызывающих сомнение трубок.

Во время вальцовки надо следить, чтобы ролик вальцовки не упал в трубу, так как достать его очень трудно. Когда труба перегревателя перегорит и имеет свищ, а заменить ее по тем или иным причинам невозможно, ее оставляют, забивая в оба отверстия конусообразные металлические пробки. Замена трубы может быть произведена при очередном ремонте.

## Повреждение и ремонт водяных экономайзеров

Повреждения труб водяных экономайзеров сводятся обычно к образованию трещин, коррозии и разрывам. Трещины встречаются преимущественно у чугунных экономайзеров. Коррозия внутренних поверхностей элементов происходит вследствие питания котла водой, содержащей кислород и углекислоту, которые выделяются в экономайзере в основной своей массе при подогреве воды, вызывая разрушения. Коррозия наружных поверхностей возможна при питании котлов холодной водой, при которой на поверхностях труб конденсируются пары, содержащиеся в газах. Влага, соединяясь с сернистым ангидридом в газах, дает сернистую кислоту, разрушающую элементы экономайзера с газовой стороны.

Разрывы чугунных труб происходят вследствие дефектов в самих трубах, однако они могут произойти также при ослаблении стенок коррозией, взрывами газов в экономайзере, гидравлическими ударами при парообразовании. Увлажнение золы в [illegible] указывает на наличие течи в экономайзерах.

Ремонт экономайзеров змеевикового типа из стальных труб производят электросваркой, а иногда даже путем удаления целых [illegible].

Чугунные экономайзеры часто дают течи в стыках между трубами и так называемыми калачами. Течь устраняют смазкой прокладок из паронита.

Смену поврежденных ребристых труб производят во время капитального ремонта, при текущих же ремонтах просто ставят заглушки на выходящих из строя трубах.

## Повреждение и ремонт воздухоподогревателей

Воздухоподогреватели изготовляются двух типов: пластинчатые и трубчатые. Наиболее частые повреждения пластинчатых воздухоподогревателей происходят вследствие коробления. Коробление вызывается перегревами. В случае воспламенения скопляющейся сажи в щелях воздухоподогревателя также может наступить деформация пластин. При короблении ширина газовых щелей уменьшается с 25 до 5 *мм*. Иногда пластины заходят [illegible] друг к другу, а места сварки лопаются. Такие повреждения приводят к забиванию воздухоподогревателей золой и к потере тяги.

При сжигании топлив с большим содержанием влаги может происходить конденсация ее, которая в присутствии сернистого ангидрида образует сернистую кислоту и вызывает коррозию. Для предотвращения коррозии необходимо, чтобы температура воздуха, подаваемого вентилятором, была не ниже 40°. Это можно осуществить, подавая во всасывающий патрубок вентилятора часть нагретого воздуха (так называемая рециркуляция). Чистку воздухоподогревателей нужно производить путем обдувки их перегретым паром и воздухом или путем обмывки водой из шланга после остановки котла. Покоробившиеся пластины должны быть выправлены введением в щель специальной оправки. При сильном короблении воздухоподогреватель надо разобрать и править пластины на плите. Лопнувшие швы заваривают электросваркой. При сильном повреждении необходимо сменить целиком весь элемент. Трубчатые воздухоподогреватели не подвержены короблению, но подвержены коррозии. Неплотности, так же как у пластинчатых, заваривают электросваркой.

## Повреждение и ремонт дымососов и вентиляторов

Износ корпусов и роторов дымососов вызывается частицами золы, уносимыми дымовыми газами. Особенно большие износы

дым [illegible] на жидком топливе. [illegible] При [illegible] вентиляторов [illegible] на чистом [illegible] также [illegible]

Под [illegible] в результате [illegible] изнутри обычно [illegible] которую необходимо [illegible] в зависимости [illegible] устройств составляет [illegible] можно наплавить твердыми [illegible] лопатки должны быть [illegible] электросварки или [illegible] роторы чтобы [illegible] спокойно и тщательно [illegible] После ремонта ротор должен быть [illegible]

### Ремонт [illegible] арматуры

Предохранительный [illegible] пар вследствие неплотности [illegible] седла клапана в результате [illegible] воды и пара, истирания его частицами пара и воды [illegible] давления на седло или наконец [illegible] клапана. Устранение этих дефектов производится во время ремонта притиркой клапана и правильной сборкой. Обратные клапаны и вентили имеют тот же дефект легко устраняемый притиркой. Задвижки требуют обычно шаброки и пригонки уплотнительных колец, что несколько сложнее. У всех типов арматуры слабым местом являются сальники которые требуют ежедневного ухода и осмотра.

### Уход за обмуровкой котла

Обмуровка котла требует ежедневного наблюдения и ухода. Для сохранения прочности огнеупорной кладки важно по возможности не допускать в топках резких изменений температур. Кроме того необходимо защищать кладку от размыва водой например от течи из трубопроводов при гидравлических испытаниях котлов. Если размыв произошел следует подмазать шелгли глиной или лучше переложить заново поврежденную часть кладки. Необходимо тщательно следить за тем чтобы не было намокания кладки. Особенно опасна трудно заметная течь из котельных швов, прикрытых обмуровкой. Вызванное течью намокание кладки часто является причиной значительных разъеданий металла котлов.



Следует [illegible] производить контрольные осмотры обмуровки и немедленно устранять все обнаруженные, даже самые [illegible] дефекты. Незначительные повреждения, особенно [illegible] пространстве, могут повести к крупным разрушениям.

Плотность [illegible] кладки проверяется с помощью пламени [illegible] которое возгорается при неплотности в трещину обмуровки. [illegible] плотностью в местах сопряжения металла [illegible] кладкой. Для устранения замеченных дефектов иногда [illegible] промазать дефектные места глиной.

Новую обмуровку котла необходимо осторожно и основательно просушить, в противном случае получатся трещины и деформации кладки. Вначале кладку сушат просто воздухом, открывая топки и создавая тягу, а затем небольшими кострами в топке.

Включать котел в нормальную эксплоатацию после ремонта топки необходимо после полного прогрева кладки, что определяется на ощупь температурой наружных стен кладки.

## 11. Повреждение и ремонт паровых машин

В настоящее время стационарные паровые машины в качестве двигателей для электрических генераторов не применяются. Исключение составляют локомобили, которые до настоящего времени не потеряли своего значения в качестве двигателя для небольших установок. По вопросу повреждений и ремонта паровых машин имеются весьма обстоятельные руководства, поэтому здесь приводятся лишь наиболее часто встречающиеся неисправности и их устранение.

**Паровой цилиндр.** Поломки крышек парового цилиндра, если не имеется дефектов литья, обычно происходят в результате скопившейся в цилиндре воды, увлеченной из котла с паром как при плохом устройстве или содержании водоотводчиков.

В случае (как это часто бывает) излома задней крышки цилиндра можно временно заменить чугунную крышку стальной, изготовив ее из двух листов по 20 *мм* толщиной. В случае трещин в цилиндре их сжимают с помощью тяг с хомутами. Возможна иногда заварка трещины. Эта работа должна быть выполнена квалифицированным сварщиком.

**Поршневой шток.** Обычно повреждение штока заключается в заедании и износе штока, зависящем от недостаточных размеров отверстия в грундбуксе. Грундбуксу и стакан необходимо рассверливать на 1—2 *мм* больше диаметра штока.

**Поршень.** Неплотность поршня в цилиндре и хлябание поршневых колес начинаются по истечении некоторого срока работы машины. Со временем кольца теряют свою упругость и не при-

[illegible]

[illegible] в машине

[illegible]

[illegible] если не [illegible] и при внутренней [illegible]

[illegible] и трещины в [illegible] При повреждении [illegible] случае образования [illegible] может быть исправлены [illegible]

**Параллели** [illegible] чаще всего бывает [illegible] смазки параллелей Поэтому на [illegible] должны быть установлено непрерывное набивание а также установлены непрерывно действующие капельные масленки

**Крейцкопф** Наиболее частое повреждение крейцкопфа происходит из-за ослабления клина при ослаблении клина в машине наблюдается характерный стук Во избежание ослабления клинового соединения необходимо в узкой части закрепить клин дюбелем, просверлив соответствующее отверстие

**Кривошип.** Характерным дефектом в работе кривошипа является стук и ослабление пальца в гнезде вследствие неправильного уклона хвоста Уклон должен составлять $^1/_{24}$ длины пальца Излом кривошипного пальца происходит при непараллельности его по отношению к коренному валу, кроме того в этом случае может иметь место износ вкладыша шатуна и стук в машине

**Коренной вал.** Причиной поломки коренного вала могут быть раковины в теле вала Трещины щеки колена иногда могут быть исправлены накладкой, укрепляемой шурупами, если трещина имеет длину не более половины щеки

**Трещинки в шейке вала** получаются от чрезмерного нагревания Для предотвращения продольных трещин необходимо следить за правильной смазкой

**Повреждение и ремонт подшипников.** Повреждения рабочих поверхностей вкладышей подшипника происходит большей частью от чрезмерного нагревания их Нагревание происходит при отсутствии масляной пленки между вкладышем и валом



Наряду с отсутствием смазки и другими причинами это происходит в том случае если вкладыш прилегает всей поверхностью к шейке вала Поэтому необходимо для правильной работы следить за тем чтобы вкладыш подшипника имел «развал», т е чтобы соприкосновение между шейкой вала и нижним вкладышем происходило в средней трети Обычно ремонт подшипника заключается в подшабривании вкладышей с целью создания развала благоприятствующего правильному подводу масла к шейке и установления зазора между валом и верхним вкладышем

Если шабровка уже невозможна, подшипники необходимо перезалить Для перезаливки вкладыш очищают от старого баббита путем нагрева Очищенные поверхности лудят для лучшего сцепления баббита с металлом вкладыша Предварительно вкладыши соединяют вместе Внутрь вставляют «стержень», как бы заменяющий вал Стержень имеет диаметр на 10 *мм* меньше диаметра вала Соединенные вкладыши ставят вертикально и обмазывают глиной во избежание утечки баббита через зазоры. На вкладыши наставляется кольцо 15—20 *мм* высотой для удержания избытка заливаемого баббита Затем вкладыш подогревают и заливают баббитом. Получающийся прилив позволяет собирать грязь и вкрапления в верхней точке вне вкладыша Этот «литник» в дальнейшем удаляют

После заливки вкладыши растачивают, а затем пришабривают Пришабривание производят по краске. Для этого шейку вала покрывают краской и притирают вкладыши подшипника, вращая их по окружности шейки При этом вращении возвышающиеся части вкладыша подшипника покроются краской. Покрытые краской места на вкладыше снимают трехгранным шабером. После такой пригонки приступают к окончательному «пришабриванию» Пришабривание продолжается до тех пор, пока весь вкладыш не покроется ровными мелкими пятнами краски (бликами), получающимися на поверхности соприкосновения вкладыша и шейки вала

Неплотности клапанов и кранов устраняются путем притирки Притирка пробок в кранах производится следующим образом: пробку смазывают маслом, посыпают ее очень мелким наждачным порошком, вставляют в гнездо и, вращая, притирают. По прошествии некоторого времени для проверки вынимают пробку, вытирают ее насухо и проводят вдоль черту мелом. Если при повороте вставленной пробки меловая черта равномерно сотрется, то это указывает на хорошую притирку.

Клапаны можно притирать таким же образом, но для поворачивания стержня клапана с тарелкой конец стержня зажимают в зажимах, образующих две рукоятки, с помощью которых производится вращение и притирка клапана.

[illegible] бывает в тех случаях когда [illegible] или поверхность золотник[illegible] а также когда пригорает [illegible] направляющих бывает исключ[illegible] из-за необходимой смазки и неизгранных масленок.

## 12. Повреждение и ремонт паровых турбин

Повреждения паровых турбин по месту возникновения их [illegible] следующим образом: лопаточный аппарат — 31% всех случаев, ротор турбины — 12, вибрация турбины — 14, регулирование — 10, уплотнение — 9, подшипники — 6,5, масляная система — 5,5, прочие — 12%.

Вышеприведенные цифры показывают, что самое большое число повреждений приходится на долю лопаточного аппарата.

### Повреждение и ремонт лопаточного венца ротора и статора

По вскрытии турбины и выемке ротора, прежде чем начать чистку лопаток, необходимо произвести их тщательный осмотр для выявления и записи в журнале следующих дефектов:

а) степени загрязнения лопаток, а также характера отложений по ступеням, с лопаток при этом следует снять налет отложений для производства химического анализа,

б) степени коррозии лопаток,

в) степени эрозии рабочих и направляющих лопаток по ступеням,

г) следов задевания и натиров на лопатках, дисках и диафрагмах, а также трещин и поломок лопаток.

Лучший способ осмотра — фотографирование и зарисовка, которые дают документ, по которому в дальнейшем можно судить усилились или приостановились разъедание и отложения.

**Чистка лопаток.** В процессе эксплоатации турбины часто давление в промежуточных ступенях постепенно возрастает, вызывая перегрузку лопаточного аппарата и упорного подшипника, а также повышение расхода пара турбиной. Перегрузка лопаточного аппарата может привести к поломкам лопаток вследствие усталости металла. Причиной всех этих дефектов в работе является загрязнение лопаток отложениями солей. Часто отложения занимают до 25—40% проходного сечения лопаточных каналов. Если питательная вода приготовляется в специальной водоочистке, а пар промывается и освобождается от влаги до поступления в турбину, отложений можно избежать.



Очистку лопаток можно производить несколькими способами. Проще всего производить очистку скребками, изготовляемыми по форме лопаток. Этот способ чистки весьма трудоемкий, длительный и, кроме того, связан с царапаньем лопаток. Царапины в дальнейшем служат очагами коррозии. Другим способом является обмывание ротора после выемки конденсатом из брандспойта при температуре 100° и давлении 1,5—2,0 *ата*. Этот способ дает хорошие результаты, экономя время и труд.

Промывку рабочих лопаток делают на вынутом роторе, а направляющих лопаток — в цилиндре. В последнем случае необходимо следить за стоком грязи и горячей воды через дренажные отверстия в цилиндре.

После промывки для предохранения лопаток от ржавления рекомендуется сушка их горячим воздухом, а затем опрыскивание обезвоженным керосином. Чистка пескоструйным аппаратом портит и изнашивает лопатки, и от нее следует отказаться.

В практике отечественных электростанций применяется способ промывки лопаток увлажненным паром на ходу турбины, при частичной нагрузке ее или на холостом ходу. Увлажнение пара производится путем впрыскивания конденсата в главный паропровод перед турбиной, при этом температура пара снижается до достижения паром насыщения. У некоторых крупных турбин имеется специальное оборудование для промывки.

При промывке необходимо пользоваться специальной инструкцией. Необходимо предупредить, что при неумелом и небрежном пользовании этим способом можно вызвать гидравлический удар и порчу турбины. Промывку целесообразно производить перед остановкой турбины на ремонт — это сокращает время и труд на чистку.

**Эрозия лопаток.** Эрозией называется механическое изнашивание лопаток капельками воды и твердыми частицами, увлекаемыми паром из котла. Эрозия чаще всего начинает появляться в тех ступенях, в которых пар из перегретого переходит в насыщенный.

Сильная эрозия часто наблюдается в последних ступенях, где пар имеет значительную влажность, до 10—14%. Особенно значительной бывает эрозия в верхней части. Эрозия в верхней части рабочей лопатки имеет обычно место вдоль входной кромки в пределах 25—50 *мм* от конца лопатки, вблизи бандажа, на спинке и ножке. Процесс эрозии новых лопаток идет вначале быстро, а затем замедляется. Степень разрушения эрозией зависит от качества материала — его поверхностной твердости, окружной скорости, длительности работы турбины, влажности пара и наличия в нем солей.

Снижение эрозии лопаток достигается следующими мероприятиями:

[illegible]тельно улучшает работу механизма в то время как [illegible] перемена местами грузов регулятора может иногда [illegible] балансировку и вибрацию

[illegible] регулятора и его соединительной системы считается [illegible]рительной, если при неизменном положении муфты [illegible] мертвый ход сервомотора не превышает 3% его [illegible]льного хода. Перемещение это может быть проверено, [illegible] остановленной машине пущен вспомогательный масляный [illegible] и произведен нажим на рычаг между золотником и [illegible] регулятора. Золотник при этом переместится и это в [illegible]ерель вызовет перемещение сервомотора на величину [illegible] хода

[illegible]обенно тщательно при ремонте и сборке надо следить за [illegible]той масляных каналов и соединительных трубочек, которые должны быть проверены и продуты

В случае замены главных пружин регулятора (наличие трещин, поломка) необходимо произвести специальную регулировку и затяжку пружин по размеру, который устанавливается до сборки регулятора.

Регулирующие клапаны турбин служат для поддержания нужного числа оборотов турбины соответствующим впуском пара.

В большинстве это двухседельные клапаны большого диаметра При малейшей неплотности клапанов работа регулирующего устройства нарушается.

Дефекты в работе клапанов могут быть вызваны такими причинами, как разъедание клапанов паром, раковинами на седлах и уплотняющих кромках, заедание и коробление клапанов.

Плотность при ремонте достигается устранением этих дефектов и притиркой клапанов к седлам, которая производится наждачным порошком с маслом.

Очень часто наблюдается заедание стержней клапанов во втулках, которое происходит вследствие расширения металла стержня и втулки. Часто причиной этого служит отложение на стержне и во втулке накипи. Для этого необходимо, чтобы между стержнем и втулкой в холодном состоянии был оставлен зазор от 0,1 до 0,3 *мм* в зависимости от диаметра стержня.

Во избежание заедания желательно время от времени менять нагрузку, чтобы стержень клапана передвигался во втулке Этим можно избежать «прикипания» и заедания клапанов

Сервомоторы разбирают очень редко и обычно повреждениям они не подвержены.

Золотники регулирующего устройства представляют собой самое чувствительное устройство системы регулирования Наиболее часто встречающиеся дефекты

а) увеличение зазора между золотником и стенкой золотниковой камеры;



б) неправильное перекрытие окон во втулке;

в) дефекты в шарнирном соединении.

Золотник необходимо пригонять к втулке так, чтобы он не имел зазора, но и не заедал бы в ней Радиальный зазор обычно устанавливают от 0,05 до 0 1 *мм*. Особенно тщательно следует проверять сопряжение между золотником и соединительной тягой. В этом месте шток золотника присоединяется к тяге шаровым сочленением, которое допускает небольшое отклонение тяги от оси золотникового штока

Заедание в этом сочленении может вызвать нарушение хода турбины, поэтому это сочленение при ремонте всегда должно быть тщательно проверено

Предохранительный выключатель у турбины автоматически прекращает доступ пара при увеличении числа оборотов турбины выше 10% от нормального Предохранительный выключатель после ремонта должен быть проверен перед пуском турбины. Кроме того, проверка предохранительного выключателя должна производиться ежемесячно.

Детали предохранительного выключателя во время ремонта необходимо очищать от грязи и ржавчины. Все вмятины на бойке и собачках должны быть запилены и зачищены.

Между ударником на валу и рычагами зазор обычно составляет 0,6—0,8 *мм*, доходя до 0,8—0,1 *мм*. При меньших зазорах предохранительный выключатель может сработать при вибрации турбины и при числе оборотов лишь немногим выше нормального.

Испытание предохранительного выключателя производится начальником цеха совместно с турбинным мастером. При этом путем нажима на рычаг регулятора турбине сообщается число оборотов выше нормального до момента срабатывания предохранительного выключателя при числе оборотов на 10% превышающем нормальное Если этого не произойдет, необходимо выключить предохранительный выключатель вручную и произвести регулировку заново.

## Червячная передача регулятора, ее повреждение и ремонт

Повреждение червячной передачи является частой причиной аварий турбин.

Повреждения червячной передачи происходит из-за неправильной сборки, несоответствия материалов червяка и червячного колеса, ненормальных условий эксплоатации (недостаточная смазка, прогиб вала, заедание главного масляного насоса, неправильный пуск турбины) паразитных токов. Червяк должен быть из мягкой углеродистой стали с поверхностной цементацией, колесо — из специальной бронзы.

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ К ГЛАВЕ X

[illegible]

[illegible]

Перечислить некоторые повреждения [illegible] и их признаки [illegible] ремонта

7. Перечислить некоторые повреждения кипятильных труб, их признаки [illegible] и метод замены.

8. Причины повреждения [illegible] турбин, ремонт и [illegible] паливание

9. Описать способ перезаливки и [illegible] конденсатора

10. Повреждение и расстройство [illegible] выявляется, ремонт [illegible] турбин, способ наладки и ремонта

11. Как производить чистку и ремонт конденсатора?

12. Описать уход и исправление повреждений центробежных насосов

---

# ГЛАВА XI

# ТЕПЛОИСПОЛЬЗУЮЩАЯ АППАРАТУРА НА МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ЗАВОДАХ

## 1. Теплообменные аппараты

Теплообменные аппараты широко распространены во всех отраслях техники, где необходимо передать тепло от одного вещества к другому.

Обычно применяют теплообменники непрерывного действия, т. е. такие, в которых вещества после обмена теплом покидают теплообменник и взамен их поступают новые количества веществ. Вещества должны быть газообразными или жидкими, в исключительных случаях сыпучими.

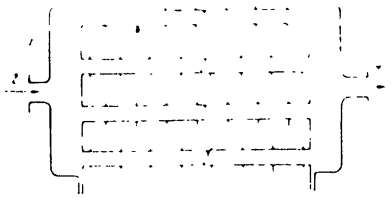
Теплообмен может происходить передачей тепла через разделительные стенки или при смешении веществ. В последнем случае одно из них должно быть жидким, другое — газообразным.

Основными являются следующие две группы теплообменников: теплообменники с плоскими поверхностями теплообмена и теплообменники с трубчатыми поверхностями теплообмена. В последнее время появился еще один тип — спиральные теплообменники.

Теплообменники с плоскими поверхностями теплообмена могут быть двух видов: ребристые и пластинчатые. Ребристые теплообменники, состоящие из труб (рис. 91), имеют камеры *1*, соединенные между собой трубами, на которые насажены ребра для увеличения поверхности соприкосновения с газообразным веществом. Теплообменники этого типа, служащие для подогрева воздуха, называются **калориферами**.

Греющая среда (пар, горячая вода) поступает через патрубок *2*, проходит далее через трубы *3* и выходит через патрубок *4*. Нагреваемая среда (воздух или газ) нагнетается по направлению стрелок и протекает между трубами. Количество рядов труб, расположенных перпендикулярно к плоскости чертежа, — от 4 до 6.

Калориферы соединяют в батареи параллельно или последовательно (рис. 92). При параллельном соединении нагреваемый воздух разбивается на несколько потоков, поэтому скорость воздуха и, следовательно, сопротивление — меньше. Но при уменьшении скорости падает коэфициент теплопередачи, следо-



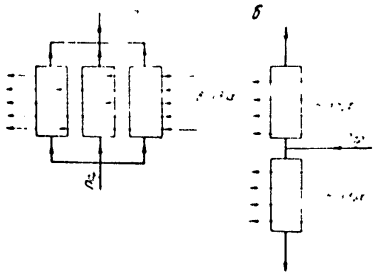
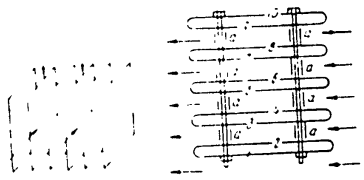



Рис. 92. Последовательное и параллельное соединение калориферов

тора, нагнетающего воздух в калорифер меньше, но больше поверхность калорифера, а следовательно, и стоимость установки. При последовательном соединении больше расход энергии на вентилятор, но меньше поверхность нагрева калорифера



[illegible] схематически дан на рис. 93 [illegible] толщиной около 3 мм [illegible] между листами сохраняется при [illegible] труб, надеваемых на болты



[illegible] такого теплообменника

[illegible] собирают в пакет, после чего края листов 1 и 2, 3 и 4, 5 и 6, 7 и 8 сваривают, как показано на рис. 93, листы 2 и 3, 4 и 5, 6 и 7 сваривают в диаметрально противоположных сторонах теплообменника. Между листами 1 и 2, 3 и 4, 5 и 6, 7 и 8 теплоноситель перемещается в направлении, параллельном плоскости рисунка, между листами 2 и 3, 4 и 5, 6 и 7 теплоноситель перемещается в направлении, перпендикулярном плоскости рисунка. Вместо плоских листов применяют иногда волнистые, что позволяет отказаться от распорных трубок и вместе с тем увеличивать поверхность нагрева.

Пластинчатые теплообменники нельзя применять при высоких температурах теплоносителей, так как плоские стенки деформируются и коробятся. Кроме того, отверстия для болтов нарушают плотность между полостями обоих теплоносителей и допускают перетекание их из одной полости в другую.

В котельной практике пластинчатые теплообменники применяются в качестве воздухоподогревателей. Пластины сваривают в виде кубов, причем размеры кубов подбирают такими, чтобы не требовалась установка болтов и распорных трубок. Расстояние между пластинами обычно 15—20 *мм*.

Самое широкое распространение в промышленных установках имеют трубчатые теплообменники, в которых один теплоноситель протекает внутри трубок, другой — между ними.

На рис. 94 показан наиболее часто применяемый многотрубный теплообменник, который используется для самых разнообразных целей (подогрев воды паром, подогрев воды водой, охлаждение масла водой и т. д.).

Трубчатый теплообменник многотрубного типа состоит из цилиндрического корпуса 1, трубных досок 2, в отверстиях

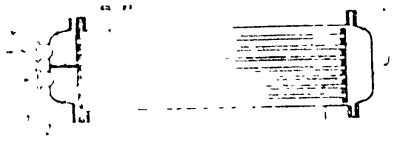


Рис. 94. Трубчатый теплообменник

...ых имеются 2 трубки 1 для подвода и отво... 2 перегородки 3 для направления потока ... трубки необходимо разместить на доске ...

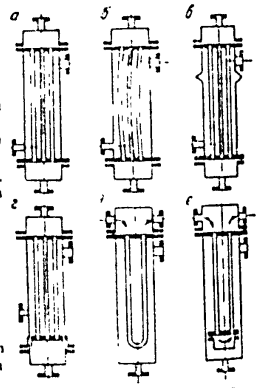


Рис. 95. Типы подогревателей

...ровании уд... случае глухой ... в трубных до... их поломка и ... (рис. 95, а).

Чтобы избежать этого, ... несколько способов ... удлинений (рис ...

... размещение сетка из ... трубок (рис. 95, б), ... ство гибкой ком... волны на корпу... а)

... ение одной труб... подвижного типа ... сальником ...

... (обра... (рис. 95, д).

... подвижной задней камеры теплообменника ...



Последний тип пользуется наибольшим распространением вследствие независимости удлинения трубок от корпуса, легкого ремонта, хорошего обтекания трубок паром.

Трубки применяют диаметром $^{24}/_{22}$ *мм* и выше. Латунные трубки можно применять с внутренним диаметром не менее 10 *мм*. Теплообменники бывают одноходовыми (рис. 96, *а*), когда трубное и межтрубное пространства имеют по одному ходу, и двух- и многоходовыми (рис. 96, *б*), когда одна из полостей или обе полости имеют два хода.

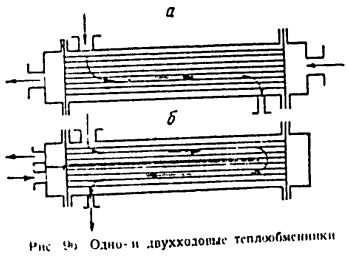


Рис. 96. Одно- и двухходовые теплообменники

Одноходовые теплообменники наиболее распространены, так как просты и имеют малое сопротивление в обеих полостях.

Поверхности нагрева трубчатых теплообменников одноходового типа могут быть от 0,5 до 1000 $м^2$.

Однотрубные теплообменники состоят из отдельных элементов, причем каждый из них представляет собой трубу, вставленную в другую трубу. Отдельные элементы соединены друг с другом; внутренние трубы — с внутренними трубами, кольцевые пространства — с кольцевыми пространствами.

Однотрубные теплообменники громоздки, но вследствие простоты часто используются в промышленности.

Схема расчета пароводяного трубчатого подогревателя приводится в виде числового примера.

### Тепловой расчет пароводяного подогревателя (бойлера)

1. Количество нагреваемой воды определяется по тепловому балансу установки $W = 125\,000$ *кг/час*.

2. Давление греющего пара задается обычно по давлению в отборном патрубке турбины $p = 1.8$ *ата* при степени сухости $x = 0{,}98$.

3. Полное теплосодержание пара, взятое по таблицам для водяного пара, $i = i_1 + r \cdot x = 116{,}5 + 528{,}8 \cdot 0{,}98 = 635$ *ккал/кг*.

6. Температура [illegible] °C

7. Температура [illegible] температуры на выходе пара на [illegible]

$$t_s = 116 + [illegible] = 116$$

где $t_s$ — температура насыщения.

8. Температура [illegible] при [illegible] может быть получена из соотношения

$$t = 100 + [illegible] = [illegible]\ °C$$

7. Средняя разность температур пара и [illegible] определяется по выражению

$$\Delta t_{cp} = \frac{\Delta t_c}{2.3 \lg \frac{\Delta t_c}{\Delta t_e}} \Delta t_e \qquad (123)$$

где

$$\Delta t_e = t_s - t = 116,3 - 100 = 16,3$$

$$\Delta t_c = t_s - t = 116,3 - 60 = 56,3$$

$$\Delta t_{cp} = \frac{16,3 - \frac{56,3}{2.3 \lg \frac{56,3}{16,3}}}{} = 30,3$$

$$\Delta t_{cp} = 32,3\,°C$$

8. Требуемое количество греющего пара

$$g = \frac{W(t_2 - t_1)}{(t - t_s)} = \frac{145000(100 - 60)}{(635 - 116)} = 11047\ кг/час \qquad (124)$$

9. Скорость движения воды по трубкам может быть принята от 1,2 до 2,5 м/сек. Примем $w = 2$ м/сек.

10. Размер трубок $d_1/d_2$, где $d_1$ — внутренний диаметр, $d_2$ — внешний диаметр трубок. Употребительные размеры трубок $[illegible]$ 16/18, 17/19.

Примем $d_1/d_2 = 16/18$.

Материал трубок обычно латунь, реже сталь.

11. Число ходов воды $z$ принимают обычно четное из соображений компоновки подогревателей. Примем $z = 4$.

12. Число трубок определяется по формуле

$$V = \frac{W \cdot z}{2825 C w d_1^2}, \qquad (125)$$

$$V = \frac{125 \cdot 4}{2825 \cdot 2 \cdot 0,018^2} = 274$$

13. Шаг разбивки трубок в подогревателях и бойлерах применяется по треугольнику и при развальцовке трубок с обоих концов определяется по выражению:

$$S = d_2 + 6\ мм; \qquad S = 16 + 6 = 22\ мм.$$

14. Коэффициент заполнения трубной доски трубками $\varepsilon_p = 0,6—0,7$



15. Диаметр гнезда трубок определяется по выражению:

$$D = \sqrt{\frac{0,866}{0,785} \cdot \frac{S^2 N}{\varepsilon_{тр}}} \cdot 10^3\ мм, \qquad (126)$$

$$D = \sqrt{\frac{0,866 \cdot 0,022^2 \cdot 274}{0,785 \cdot 0,65}} \cdot 10^3\ мм = 474\ мм$$

16. Число рядов труб в пучке при шаге 22 мм

$$n = \frac{D}{S} = \frac{474}{22} = 21\ ряд$$

17. Для определения поверхности нагрева бойлера необходимо определить коэффициент теплопередачи

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}}, \qquad (127)$$

где $\delta = \frac{d_2 - d_1}{2} = \frac{18 - 16}{2} = 1$ мм — толщина стенки.

$\lambda$ — коэффициент теплопроводности латуни, равный 90 ккал/м час°С;

$\alpha_1$ — коэффициент теплоотдачи от пара к стенке, определяемый по следующей формуле:

$$\alpha_1 = 0,724 \sqrt[4]{\frac{\lambda^3 \gamma^2 r \cdot 3600}{\eta_1 (t_s - t_{cm}) nd}}. \qquad (128)$$

Средняя температура стенки трубы

$$t_{cm} = \frac{t_s + \frac{t_1 + t_2}{2}}{2} = \frac{116,3 + \frac{100 + 60}{2}}{2} = 98\,°C$$

Значения: $\lambda_в$ — теплопроводность воды, ккал/м час°С;

$\eta_1$ — абсолютная вязкость воды, кг сек/м²;

$r$ — скрытая теплота парообразования (в ккал/кг), принимаем для конденсата при температуре:

$$t_m = \frac{t_s + t_{cm}}{2} = \frac{116,3 + 98}{2} = 110\,°C$$

Значения $\lambda$ и $\eta_1$ получим из табл. 21

Таблица 21

**Физические константы воды**

| Температура °С | Теплопроводность ккал/м час °С | Абсолютная вязкость кгсек/м² | Температура °С | Теплопроводность ккал/м час °С | Абсолютная вязкость кгсек/м² |
|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 0,477 | $129,9 \cdot 10^{-6}$ | 30 | 0,529 | $81,6 \cdot 10^{-6}$ |
| 10 | 0,495 | $133,5 \cdot 10^{-6}$ | 40 | 0,543 | $66,6 \cdot 10^{-6}$ |
| 20 | 0,513 | $102,8 \cdot 10^{-6}$ | 50 | 0,554 | $56,0 \cdot 10^{-6}$ |

Подставив значения в формулу (129) получим

$$\alpha_2 = 0{,}024\,\frac{0{,}582}{0{,}016}\left(\frac{1{,}2\cdot 0{,}016\cdot 965\cdot 10^{6}}{32{,}3\cdot 9{,}81}\right)^{0{,}8}\times$$

$$\times\left(\frac{32{,}3\cdot 1\cdot 9{,}81\cdot 9600}{10^{6}\cdot 0{,}582}\right)^{0{,}37}$$

$$\alpha_2 = 0{,}024\,\frac{0{,}582}{0{,}01}\,(8{,}00)^{0{,}8}\cdot 1{,}97^{0{,}37} = 7250\ ккал/м^2\,час°C$$

Введя значения $\alpha_1$ и $\alpha_2$ в основную формулу, получим

$$k = \frac{1}{\frac{1}{5250}+\frac{0{,}001}{60}+\frac{1}{7250}} = \frac{1}{0{,}000185+0{,}000011+0{,}000138} =$$

$$= \frac{1}{0{,}000339} = 2950\ ккал/м^2\,час°C.$$

18. Поверхность нагрева пароводяного подогревателя

$$F = \frac{Q}{K\Delta t_{ср}} = \frac{W(t_2-t_1)}{K\Delta t_{ср}}\ м^2, \qquad (130)$$

$$F = \frac{125\,000\,(100-60)}{2950\cdot 32{,}3} = 52{,}5\ м^2$$

19. Расстояние между трубными досками, равное полезной длине трубок

$$l = \frac{F}{\pi d_2 N}\ м = \frac{52{,}5}{3{,}14\cdot 0{,}018\cdot 274} = 3{,}4\ м \qquad (131)$$

20. Внутренний диаметр корпуса

$$D_0 = D + d_1 + (60 - 180)\ мм$$

При $D = 474$ *мм* и $d_1 = 16$ *мм*

$$D_0 = 474 + 16 + 110 = 600\ мм$$

21. Водяное сопротивление подогревателя

$$H_w = z\left(0{,}031\,\frac{l}{d_1}\,\frac{C_w^2}{2g} + 1{,}4\,\frac{C_w^2}{2g}\right) + \frac{C_{w\,тр}^2}{2g}, \qquad (132)$$

где $z$ — число ходов, равное 4,
$l$ — длина трубок, равная 3,4 *мм*,
$d_1$ — внутренний диаметр трубок, равный 0,16 *м*,
$C_w$ — скорость воды в трубках, равная 2 *м/сек*.

Коэффициент $\zeta$, учитывающий влияние средней температуры воды и ее скорость, определяется из графика (рис. 97).

В данном случае предельное значение $\zeta$, при средней температуре воды $\frac{60+100}{2} = 80°$ и скорости 2 *м/сек*, равно 0,8.

Скорость воды в патрубке $C_{w\,тр} = 2$ *м/сек*.

$$H_w = 4\left(0{,}031\,\frac{3400}{16}\cdot\frac{2^2}{2\cdot 9{,}81}\cdot 0{,}8 + 1{,}4\,\frac{2^2}{2\cdot 9{,}81}\right) + \frac{2^2}{2\cdot 9{,}81},$$

$$H_w = 4\,(1{,}39 + 0{,}285) + 0{,}24 = 6{,}94\ м\ вод.\ ст.$$

[illegible]

2. Диаметр патрубка для пара [illegible] греющий пар

$$d_1 = \frac{10^3}{60}\sqrt{\frac{g \cdot v}{0.785 \cdot w}}\ мм \qquad (133)$$

где $g$ — расход пара, равный 11047 кг/час;
$v$ — удельный объем пара, равный 0,[illegible] м³/кг;
$w$ — скорость пара, равная 40 м/сек

$$d_1 = \frac{10^3}{60}\sqrt{\frac{11047 \cdot 0,[illegible]}{0.785 \cdot 40}} = 2[illegible]\ мм$$

примем по нормалям $d_в$ = [illegible] мм

2б. Диаметр патрубка для отвода конденсата греющего пара при скорости конденсата 1 м/сек

$$d_1 = \frac{10^3}{60}\sqrt{\frac{11047}{785 \cdot 1}} \simeq 58\ мм$$

примем по нормалям ближайший диаметр 65 мм

2в. Диаметр патрубков для подвода и отвода нагреваемой воды

$$d_2 = \frac{10^3}{60}\sqrt{\frac{125 \cdot 100}{785 \cdot 2}} = 148\ мм,$$

примем по нормалям 150 мм

Для большей уверенности в точности расчетов следует на основании полученных данных проверить правильность допущенных температур стенки трубы.

Если допущенная в п. 17 температура совпадает с полученной по расчету, результаты следует считать удовлетворительными. В противном случае необходимо произвести исправления по новым данным.

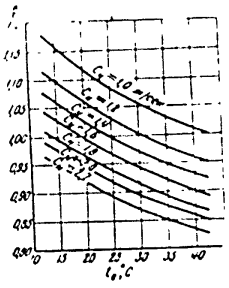



Рис. 97. График для определения [illegible]

В том случае, когда трубчатый теплообменник служит для нагрева жидкости, например для передачи тепла от нагретой воды к холодной, расчет можно провести по следующей схеме.

## Тепловой расчет водоводяного подогревателя

1. Количество охлаждаемой воды $g$ = 25 м³/час.
2. Температура воды при входе в охладитель $t_1$ = 125°C.
3. Температура воды при выходе из охладителя $t_2$ = 95°C.
4. Количество охлаждающей воды $W$ = 150 м³/час.
5. Температура охлаждающей воды при входе в охладитель $t_3$ = 75,5°C.



6. Повышение температуры охлаждающей воды при проходе через охладитель

$$\Delta t_4 = \frac{g(t_1 - t_2)}{W} = \frac{25(125 - 25)}{150} = 5°C \qquad (134)$$

7. Температура охлаждающей воды при выходе из охладителя

$$t_4 = \Delta t_4 + t_3 = 75,5 + 5 = 80,5°C$$

8. Средняя логарифмическая разность температур между охлаждаемой и охлаждающей водой в случае противотока

$$\Delta t = \frac{(t_1 - t_4) - (t_2 - t_3)}{2,3\lg\frac{t_1 - t_4}{t_2 - t_3}} = \frac{(125 - 75,5) - (95 - 80,5)}{2,3\lg\frac{125 - 75,5}{95 - 80,5}} = 28,45°C, \qquad (135)$$

причем под противотоком имеется в виду такая схема аппарата, когда холодная охлаждающая вода встречает уже охлажденную горячую воду, а нагретая охлаждающая вода встречает горячую охлаждаемую воду.

В случае прямотока

$$\Delta t = \frac{(t_1 - t_3) - (t_2 - t_4)}{2,3\lg\frac{t_1 - t_3}{t_2 - t_4}}.$$

Под прямотоком имеется в виду такая схема аппарата, когда охлаждающая вода низкой температуры встречает охлаждаемую воду высокой температуры, а охлаждающая вода высокой температуры встречает охлаждаемую воду низкой температуры.

В случае противотока охлаждение будет глубже и совершеннее.

9. Размер трубок и материал подбирается по имеющемуся сортаменту в зависимости от намеченной конструкции.

10. Скорость воды в трубках принимают 2—2,5 м/сек, примем $C_к$ = 2,1 м/сек.

11. Число ходов четное, $z$ = 4.

12. Число трубок определяется по формуле

$$N = \frac{g \cdot z}{2825 d_2^2 C_к} = \frac{25 \cdot 4}{2825 \cdot 0,013^2 \cdot 2,1} = 100$$

Если по трубкам идет охлаждающая вода, то вместо $g$ надо поставить $W$.

Обозначения входящих в формулу величин даны ранее.

13. Шаг трубок принимают $S = d_1 + 6$ мм = (16 + 6) = 22 мм.

Часто этот тип аппаратов выполняют с U-образными трубками.

14. Коэфициент заполнения трубной доски $\tau_{тр}$ = 0,64—0,8, примем $\tau_{тр}$ = 0,79.

15. Диаметр площади, занятой трубками, определяется по формуле

$$D = \sqrt{\frac{0,866 S^2 N}{0,785 \tau_{тр}}} = \sqrt{\frac{0,866 \cdot 22^2 \cdot 100}{0,785 \cdot 0,79}} = 260\ мм.$$

16. Внутренний диаметр корпуса

$$D_в = D + d_1 + 2(3 \div 5)\ мм = 260 + 16 + 2 \cdot 3,5 = 283\ мм$$

17. Сечение корпуса, свободное от трубок

$$F_к = 0,785 D_в^2 - 0,785 d_1^2 N = 0,785 \cdot 0,283^2 - 0,785 \cdot 0,016^2 \cdot 100 = 0,0428\ м^2.$$

Скорость движения воды в корпусе

$$w = \frac{W z}{3600 F_к} = \frac{1^{м^3} \cdot 2}{3600 \cdot 0,0428} = 0,65 \text{ м/сек}$$

где $z$ — число оборотов воды в корпусе.

Если в корпусе протекает охлаждаемая вода (в межтрубном пространстве), то надо подставить $E$.

19. Гидравлический диаметр свободного сечения корпуса, т. е. отношение учетверенного живого сечения (площади между трубками) к периметру, через который происходит перенос тепла (окружность одной трубки умножается на число трубок)

$$d_э = \frac{4F_к}{\pi l n} = \frac{4 \cdot 0,0428}{3,14 \cdot 0,016 \cdot 100} \cdot 10^3 = 34 \text{ мм}$$

20. Средняя температура воды, идущей по трубкам

$$t_{ср} = \frac{t_1 + t_2}{2} = \frac{125 + 95}{2} = 110°C$$

21. Средняя температура воды, омывающей трубки

$$t_{ов} = \frac{t_3 + t_4}{2} = \frac{75,5 + 80,5}{2} = 78°C$$

22. Коэфициент теплоперехода между водой, омывающей трубки и наружной поверхностью трубки определяется по формуле

$$\alpha_{ов} = b \frac{c_1^{0,87}}{d_э^{0,13}} = 3810 \frac{1,05^{0,87}}{0,034^{0,13}} = 10700 \text{ ккал/м}^2\text{час °C} \qquad (136)$$

23. Коэфициент теплоперехода между водой, идущей по трубкам, и внутренней поверхностью трубки

$$\alpha_{тр} = b \frac{c_1^{0,87}}{d_2^{0,13}} = 4510 \frac{2,1^{0,87}}{0,013^{0,13}} = 15000 \text{ ккал/м}^2\text{час °C}, \qquad (137)$$

где $b = 1755(1 + 0,015\, t_m)$; $t_m = t_{ср}$.

Величина коэфициента $b$ в зависимости от величины $t_m$ приведена ниже:

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $t_m$ | 0 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 |
| $b$ | 1720 | 2025 | 2307 | 2572 | 2845 | 3100 | 3350 | 3610 | 3850 |
| $t_m$ | 90 | 100 | 110 | 120 | 130 | 140 | 150 | 160 | |
| $b$ | 4100 | 4320 | 4560 | 4790 | 5020 | 5200 | 5370 | 5510 | |

24. Коэфициент теплопроводности $\lambda$ металла трубок, для латуни — 90 ккал/м час°C, для железа — 50 ккал/м час°C, для меди — 300 ккал/м час°C примем $\lambda = 90$ ккал/м час°C.

25. Толщина стенки трубы

$$\delta = \frac{d_2 - d_1}{2} = 0,001 \quad \frac{16 - 13}{2} = 0,001 = 0,0015 \text{ м}$$

26. Коэфициент теплопередачи от охлаждаемой к охлаждающей воде

$$K_0 = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{ов}} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_{тр}} \cdot \frac{2d_1}{d_1 + d_2}} =$$

$$= \frac{1}{\frac{1}{10700} + \frac{0,0015}{90} + \frac{1}{15000} \cdot \frac{2 \cdot 13}{13 + 16}} = 5450 \text{ ккал/м}^2\text{час °C} \qquad (138)$$



Ввиду возможного отложения на трубках и внутри трубок солей и твердых частиц действительное значение коэфициента теплопередачи

$$K = (0,75 - 0,88) K_0 = 0,88 \cdot 5450 = 4800 \text{ ккал/м}^2\text{час °C} \qquad (139)$$

27. Поверхность нагрева водоводяного подогревателя

$$F = \frac{q(t_1 - t_2)}{K_0 \Delta t} = \frac{25(125 - 95) \cdot 1000}{4800 \cdot 28,45} = 5,5 \text{ м}^2.$$

28. Полезная длина трубки

$$l = \frac{F}{\pi d_1 n} = \frac{5,5}{3,14 \cdot 0,016 \cdot 100} = 1,095 \text{ м}$$

29. Диаметр патрубков подвода и отвода охлаждаемой воды

$$d = 10^3 \sqrt{\frac{q}{2825 C_K}} = 10^3 \sqrt{\frac{25}{2825 \cdot 1,5}} = 76 \text{ мм},$$

где $C_K = 1-2$ м/сек; примем $C_K = 1,5$ м/сек.

30. Диаметр патрубков подвода и отвода охлаждающей воды

$$d_W = 10^3 \sqrt{\frac{W}{2825 C_W}} = 10^3 \sqrt{\frac{150}{2825 \cdot 1,3}} = 203 \text{ мм},$$

где $C_W = 1,3$ м/сек.

31. Водяное сопротивление охладителя со стороны трубок.

$$H_{тр} = z \left(0,031 \frac{l}{d_1} \cdot \frac{C_1^2}{2g} \beta_1 + 1,4 \frac{C_1^2}{2g}\right) + \frac{C_{тр}^2}{2g};$$

$$H_{тр} = 4 \left(0,031 \frac{1095}{13} \cdot \frac{2,1^2}{2 \cdot 9,81} \cdot 0,8 + 1,4 \frac{2,1^2}{2 \cdot 9,81}\right) +$$

$$+ \frac{1,5^2}{2 \cdot 9,81} \simeq 3,5 \text{ м вод. ст}$$

32. Водяное сопротивление снаружи трубок

$$H_{ов} = 2 \left(0,031 \frac{1250}{34} \cdot \frac{1,05^2}{2 \cdot 9,81} \cdot 0,8 + 1,4 \frac{1,05^2}{2 \cdot 9,81}\right) + \frac{1,3^2}{2 \cdot 9,81} \simeq$$

$$\simeq 1 \text{ м вод. ст.}$$

Коэфициенты $\beta_1$ и $\beta_2$ определяются по кривым рис. 97.

Длина корпуса $L$ определяется из конструктивных соображений, в зависимости от выбранной компоновки прибора.

При теплообмене газа с газом или жидкости с жидкостью применяют многоходовые трубчатые аппараты.

Способом повышения эффективности трубчатых аппаратов является повышение коэфициента теплопередачи от одного рабочего вещества к другому.

Рис. [illegible] показано [illegible] коэффициент [illegible] передачи выражается следующим [illegible]

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}}$$

где [illegible] коэффициенты теплоперехода [illegible] каждого из веществ к стенке трубки.

Общая величина $k$ определяется меньшим из двух коэффициентов $\alpha$, т. е.

$$\alpha = b\frac{c^{0.8}w^{0}}{d_{э}^{0.2}} \qquad (140)$$

т. е. в основном зависит от увеличения скорости и уменьшения гидравлического диаметра свободного течения корпуса (если вещество течет вне трубок) или от диаметра трубки (если вещество течет в трубках).

Таким образом одним из методов увеличения коэффициента теплопередачи является повышение скорости теплоносителя.

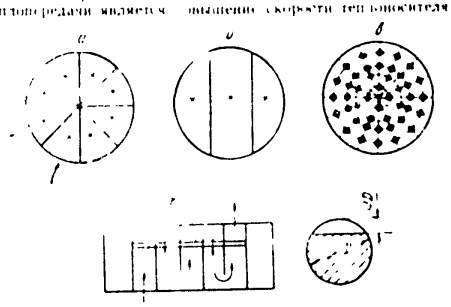



Рис. 98. Способы повышения скорости рабочих веществ в теплообменниках.

Повышение скорости при неизменном количестве рабочего вещества можно достигнуть путем уменьшения поперечного сечения для прохода вещества.

Если вещество течет в трубках, устраивают распределительные перегородки в торцевых камерах так, что теплоноситель вначале проходит через один пучок труб, а затем, поворачивая в камере, входит в другой пучок, и т. д. Этими перегородками создают так называемые ходы.



На схеме рис. 98 показано образование отдельных ходов путем установки перегородок в крышках. Сплошные линии показывают перегородки в передней головке, пунктиры — в задней.

Поток теплоносителя в направлении к чертежу, обозначен крестом, поток теплоносителя в направлении от чертежа обозначен точкой.

Обычно пучки содержат одинаковое число трубок. Скорость увеличивается пропорционально числу пучков. Перегородки делают или радиальными (фиг. 98 *а*) или по хордам (рис. 98, *б*).

Четное число ходов наиболее удобно, так как при этом ход и выход теплоносителя находится рядом. Перегородки скреплены с крышкой и прижимаются к трубной доске вместе с уплотняющими прокладками.

Часть трубной доски где прижата перегородка, не имеет трубок, это необходимо учитывать при разметке трубок.

Для увеличения скорости теплоносителя в междутрубном пространстве применяют перекрывающие перегородки, которые полностью загораживают все межтрубные пространства, оставляя для прохода теплоносителя вокруг трубок узкие кольцевые проходы, через которые теплоноситель течет с большой скоростью (рис. 98, *в*).

Если перегородки достаточно часты, в пространстве между ними скорость в значительной мере сохраняется и, кроме того, возникают вихревые движения жидкости.

Оба эти фактора значительно повышают коэффициент теплоперехода.

Наконец для повышения скорости в межтрубном пространстве можно установить неперекрывающие перегородки, показанные на рис. 98, *г*. В этом случае теплоноситель проходит по значительно более удлиненному извилистому пути. Перегородки не доходят до стенок корпуса примерно на $^1/_3$ диаметра. Неперекрывающие перегородки могут быть устроены с проходами в виде сектора, причем проход в одной перегородке не совпадает с проходом в другой. Это позволяет сделать путь теплоносителя зигзагообразным и спиральным. Установка перегородок и ходов позволяет строить теплообменники по схеме противотока и прямотока.

Следует помнить, что установка перегородок и образование ходов ведет к увеличению сопротивления, поэтому, в некоторых случаях от этих мероприятий следует отказываться.

У горизонтальных трубчатых аппаратов, служащих для конденсации пара (конденсаторы) или для подогрева воды паром (бойлеры и подогреватели), коэффициент теплоперехода $\alpha$ от пара к стенке трубки значительно уменьшается, вследствие на-

[illegible] на трубках [illegible] образовывается [illegible] трубок (рис. 99, а). [illegible] и [illegible] служат [illegible] (рис. 99, б).

[illegible] трубок [illegible] доски на некоторый угол [illegible] тем, что [illegible] верхних трубок конденсат будет попадать на нижние трубки вблизи [illegible] к окружности трубки. Конденсат обволакивает примерно только четвертую часть трубки [illegible] остальной же [illegible] в виде очень тонкой пленки. В месте, где стекает конденсат [illegible] других трубок, повышенная толщина пленки приводит к более быстрому стеканию к месту, что благоприятно сказывается на теплопередаче.

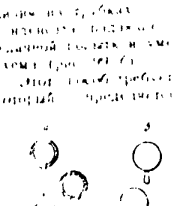


Рис. [illegible]. Расположение трубок [illegible]

При выборе трубчатых теплообменников необходимо руководствоваться условиями, в которых теплообменники будут работать, и параметрами протекающих в теплообменниках веществ. Теплопередача — не единственный и далеко не решающий фактор при выборе типа теплообменников.

Удобство чистки и осмотра при жидких теплоносителях, содержащих растворенные и нерастворенные примеси, играет очень важную роль при выборе типа аппарата.

Съемные торцевые крышки и прямые трубки при проходе загрязненного теплоносителя по трубкам весьма желательны.

Если теплоноситель в межтрубном пространстве также загрязнен, и это пространство нуждается в чистке и осмотре, выбирают конструкцию, при которой торцевая камера может быть снята вместе с пучком труб, как например показано на рис. 95, *г*.

Если одна трубная доска свободна и перемещается относительно корпуса на сальнике, это также дает возможность выемки трубного пучка вместе с одной из камер (рис. 95, *г*).

При жидкостях, содержащих засоряющие вещества, необходимо отказываться от всяких перегородок и делать теплообменники малого диаметра одноходовые или с одной перегородкой в трубной полости.

При большом расходе теплоносителя рекомендуется установка группы отдельных малых теплообменников, включенных параллельно.

При высоких температурах теплообменники должны быть рассчитаны на компенсацию температурных изменений, о чем



было уже сказано ранее и что особенно важно для теплообменников с длинными трубками.

С точки зрения установки возможно как вертикальная, так и горизонтальная установка теплообменников.

Вертикальная установка занимает меньшую площадь помещения. Горизонтальные и вертикальные теплообменники в кон-

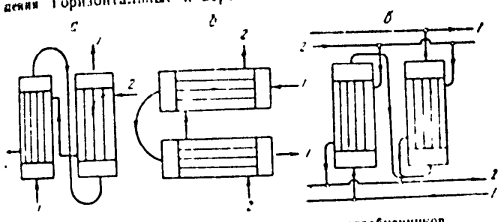



Рис. 100. Расположение трубопроводов теплообменников

структивном отношении отличаются только расположением опорных лап и штуцеров.

Так как горячий теплоноситель, охлаждаясь, направляется вниз, а холодный устремляется вверх, желательно, чтобы направление движения теплоносителя совпадало с естественным движением жидкостей. Условия теплопередачи при этом наиболее благоприятны. Чем выше теплообменники, тем больше влияние этого фактора.

Расположение коммуникаций между теплообменниками приведено на рис. 100.

На рис. 100, *а* показано соединение вертикальных теплообменников последовательно. При соединительных трубах большого диаметра следует предпочесть горизонтальное расположение теплообменников, как указано на рис. 100, *б*.

Если в межтрубном пространстве коэфициент теплоотдачи очень высок по сравнению с таковым в трубном пространстве, то подвод и вывод теплоносителя в межтрубное пространство производится параллельными потоками, что значительно упрощает коммуникации (рис. 100, *в*).

В практике металлургических заводов весьма важное значение имеют теплообменники, устанавливаемые за металлургическими печами для использования тепла отходящих газов. Теплообменники поверхностного типа непрерывного действия, в которых передача тепла происходит через стенку, разделяющую греющую среду от нагреваемой, обычно соответственно газ — воздух, носят название **рекуператоров**. Рекуператоры при-

[illegible] высоких [illegible] 1400—[illegible]

[illegible] на два [illegible] рекуператор [illegible] или прест. [illegible] в методической [illegible] на рис. [illegible]

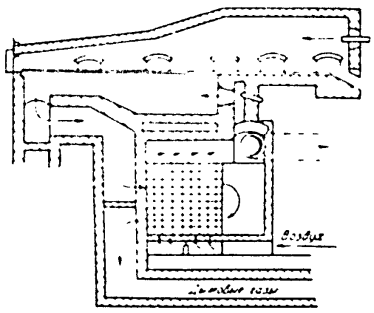



Рис. [illegible]. Методическая печь с керамическим блочным рекуператором

Преимущество керамических рекуператоров заключается в их огнеупорности и пригодности к работе при весьма высоких температурах. Однако опыт показывает, что при температуре отходящих газов печи выше 1400° и запыленности газа наблюдается плавление нагревательных элементов рекуператора и резкое ухудшение работы.

Лучшим материалом для рекуператоров является карборунд, соединяющий высокую огнеупорность с повышенной теплопроводностью. Карборунд имеет теплопроводность $\lambda = 8-10$ *ккал/м час°С*, обычный огнеупорный материал — шамот имеет $\lambda = 1,0-1,3$ *ккал/м час°С*, однако стоимость карборунда в шесть раз выше стоимости шамота.

Недостатком керамических рекуператоров является малая их газоплотность, так как газы находятся под небольшим разрежением, а воздух — под давлением. При этом неизбежно перетекание воздуха в полость дымовых газов. В этом случае вследствие перегрузки дымососа может нарушаться тяга.



Поскольку коэффициент теплопередачи керамических рекуператоров невелик, размеры их весьма внушительны. Кроме того, данные материалы при колебаниях температуры склонны к растрескиванию, что еще более ухудшает их газоплотность.

Все это заставило перейти к рекуператорам из металла (чугуна, углеродистой и даже жароупорной стали).

Обычная углеродистая сталь применяется в рекуператорах при температуре отходящих из печи газов 700—750°С и подогреве воздуха до 350°С, чугун — при температуре отходящих газов 800—850°С, температура подогрева воздуха 400—450°С.

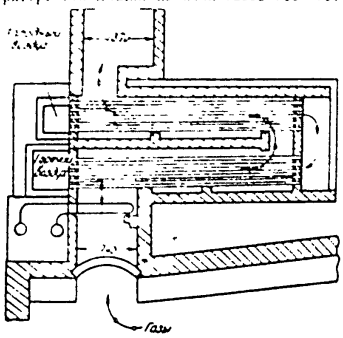



Рис. 102. Методическая печь с металлическим блочным рекуператором

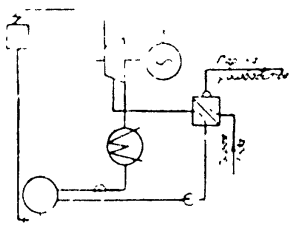
Для рекуператоров из чугуна, легированного хромом или алюминием, температура отходящих из печи газов может доходить до 900—1000°С.

Металлические рекуператоры изготовляют обычно трубчатого типа, причем нагревающий газ движется между трубами, а воздух внутри труб. На рис. 102 показан продольный разрез трубчатого рекуператора такого типа, установленный за методической печью.

Трубчатые рекуператоры газоплотны и допускают значительное повышение скоростей теплоносителя, а значит, и увеличение коэффициента теплопередачи. Трубы рекуператоров делают ребристыми, игольчатыми и гладкими.

Изображенный на рис. 102 рекуператор состоит из 180 труб длиной 3750 *мм*, диаметром 57/51 [illegible]

## 2. Выпарные аппараты



[illegible] Процесс выпарки широко распространен во всех отраслях промышленности. На металлургических заводах выпарные аппараты под названием испарителей служат на ТЭЦ для восполнения потерь конденсата в системе котельной и турбинной установок.

Для питания испарителей обычно применяется вода, предварительно очищенная до 2–3° жесткости во избежание [illegible] отложений на поверхностях нагревателей.

Испарители применяют для получения пара необходимого для технологических целей, при условии, что конденсат этого пара не может быть возвращен на ТЭЦ. Чтобы избежать при этом больших потерь конденсата ставят испарители, которые носят название **пароподреобразователей**. На рис. 100 приведена схема включения парообразовательной установки на ТЭЦ.

Из схемы видно, что конденсат пара, служащего для испарения сырой воды, возвращается обратно на ТЭЦ. Пар же, полученный из сырой химически очищенной воды, безвозвратно теряется из производства.

Греющий пар, подводимый к испарителю, называется **первичным**, а пар получающийся в испарителе, **вторичным**.

Наиболее часто встречающаяся конструкция испарителя показана на рис. 101.

Первичный пар входит в испаритель через патрубок *5*, проходит по верхнему ряду труб и поступает в верхнюю часть



[illegible] три вертикальных [illegible] патрубка *7*.

[illegible] снаружи [illegible]

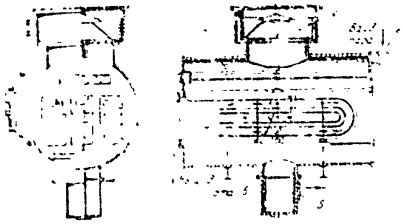


Рис. 101. Испаритель

[illegible]

сером уровня, который одновременно является регулятором питания *6*.

Получающийся в испарителе вторичный пар перед выходом в магистраль проходит сепаратор *4*. Преимуществом этого типа испарителя является его секционность. При чистке производят замену целой секции, что сокращает простой до минимума.

Расчет испарителя сводится к определению его поверхности нагрева.

Уравнение теплового баланса испарителя

$$D_1 r_1 = D_2 r_2 + \beta(t_2 - t_1), \qquad (141)$$

где $D_1$ — количество первичного пара, *кг/час*,

$r_1$ — полная теплота парообразования первичного пара *ккал/кг*,

$D_2$ — количество вторичного пара, *кг/час*,

$r_2$ — полная теплота парообразования вторичного пара *ккал/кг*,

$t_2$ — температура насыщения вторичного пара, °С,

$t_1$ — температура надлежащей испарению воды при входе в испаритель, °С;

$\beta$ — коэфициент продувки испарителя, равный 1,1—1,6

[illegible] для [illegible] солесодер[illegible] на труб[illegible]

[illegible] ниже числа в [illegible] температуры $t_1$ по 105)

*Пример 2*

Параметры [illegible] требования [illegible] например $D = 1500$ [illegible] 2 ата $t_1^s$ 119,9°C (в [illegible] для водяного пара)

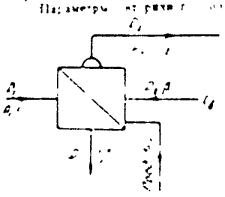


Рис 106 Схема многокорпусного испарителя

2. Температура сырой умягченной воды $t_0 = 15°C$

3. Первичный пар $p_1 = 3,2$ ата $i_1$ 652,3 ккал/кг (по таблицам для водяного пара) $t_1^s = 135,1°C$

Температура конденсата первичного пара $t_1^s = 135,1°C$ при этом теплосодержание конденсата $q_1'$ = 135,7 ккал/кг

4. Расход сырой воды в испаритель

$$W = \frac{q_1}{i_{0(0)}} = \frac{1,1 \cdot 1500}{i_{0(0)}} = 1,65 \text{ м}^3/\text{час}$$

5. Количество тепла, затраченное на подогрев [illegible] вторичного пара из воды при температуре $t_0 = 15°C$

$$q = r + c(t_1^s - t_0) = 527 + 1,1(119,9 - 15) = 642,39 \text{ ккал/кг}$$

где $r$ — теплота парообразования вторичного пара (по таблицам для водяного пара) равная 527 ккал/кг.

6. Расход первичного пара

$$D_1 = \frac{q}{r_1} D = \frac{642,39}{516,6} \cdot 1500 = 1865 \text{ кг/час}$$

где $r_1$ — теплота парообразования первичного пара

$$r_1 = i_1 - q_1' = 652,3 - 135,7 = 516,6 \text{ ккал/кг}$$

7. Отношение количества первичного пара к вторичному

$$\varepsilon_1 = \frac{1865}{1500} = 1,245.$$

8. Поверхность нагрева испарителя

$$F = \frac{D_1 r_1}{K \cdot \Delta t} = \frac{1865 \cdot 516,6}{2500 \cdot 13,68} = 28,2 \text{ м}^2$$

где $D_1$ и $r_1$ определены ранее. Коэффициент теплопередачи $K$ может быть определен по кривым рис. 106, если принять приближенно среднюю разность температур испарителя

$$\Delta t = 0,9(t_1^s - t_2^s) = 0,9 \cdot 135,1 - 119,9) = 13,68°C$$



Многокорпусная выпарка схематически приведена на рис. 107

Получаемое в первом корпусе количество вторичного пара $D_2$ направляется в качестве первичного пара во второй корпус.

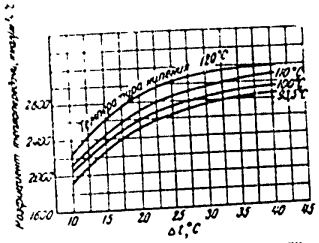



Рис 106 Коэффициент теплопередачи испарителя

Вторичный пар второго корпуса $D_2$ направляется в виде первичного пара в третий корпус, из которого получаем вторичный пар, и т д

Выразим отношение количества вторичного пара к первичному пару первого корпуса через $x_1 = \frac{D_2}{D_1}$; соответственно по второму корпусу $x_2 = \frac{D_3}{D_2}$ и по третьему $x_3 = \frac{D_4}{D_3}$.

Из первого выражения имеем:

$$D_2 = x_1 D_1.$$

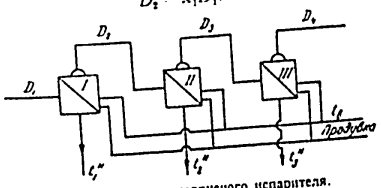



Рис 107 Схема многокорпусного испарителя.

Подставив полученное значение во второе и третье выражения, получим соответственно:

$$D_3 = x_1 x_2 D_1; \; D_4 = x_1 x_2 x_3 D_1.$$

[illegible] дистиллата

[illegible] перегретого па[illegible] неограниченное [illegible] действие нагр[illegible] выпарке 1 *кг* пер[illegible] двухкорпусной выпар[illegible] при трехкорпу[illegible] 2.2 дистиллата и т д [illegible] противоречит [illegible] вторичного третичного и [illegible] которое корпус [illegible] из корпуса в корпус [illegible] давлением [illegible]

Испарительные и [illegible] преобразовательные установки приме[illegible] на ТЭЦ [illegible] когда требуется весьма вы[illegible] качество воды [illegible] современные химические водо[illegible] установки [illegible] значительного совершенства и [illegible] с парителями [illegible] давлением пара в турбине *20 ата* отдает

## 3 Тепловые насосы

Современные тепловые и силовые установки всех видов, в том числе и установки металлургических заводов являются часто источником так называемого **отброшенного** и отходящего тепла низких параметров, которое не может быть непосредственно использовано для целей нагрева или отопления

Значительное количество процессов особенно на смежных с металлургическими химических заводах связано с получением вторичного или отходящего пара низких параметров (выпарка, сушка) Пар низких параметров часто не используется при сушке он выбрасывается наружу при дистилляции конденсируется в холодильниках а охлаждающая вода просто спускается в канализацию

Чтобы теплоносители низких параметров могли найти применение в промышленности, их температура должна быть повышена путем частичного сообщения в виде работы той энергии, которую эти теплоносители потеряли в приборах и аппаратах



Аппараты которые сообщают пару или воде добавочную полезную энергию носят название **тепловые насосы** или **термокомпрессоры**

Самым простым способом термокомпрессии для пара служит сжатие его помощью компрессора Обычно применяют турбокомпрессоры имеющие привод от электромотора или от паровой турбины Кроме того сжатие пара может быть произведено пароструйными аппаратами — **инжекторами**

Турбокомпрессор для пара очень мало отличается от турбокомпрессора для газа

Вопрос о целесообразности применения сжатия решается расходом энергии на сжатие

Расход энергии на работу теплового насоса пропорционален полному температурному перепаду между греющим и вторичным паром

Расход энергии турбокомпрессором на 1 *кг* сжимаемого пара выражается формулой

$$\vartheta = \frac{h}{860\eta_к} \qquad (142)$$

с учетом потерь в электромоторе

$$\vartheta = \frac{h}{860\eta_к\eta_м} \qquad (143)$$

где $h$ — увеличение теплосодержания пара в результате сжатия, *ккал/кг*,

$\eta_к$ — к п д компрессора, равный 0,6,

$\eta_м$ — к п д электромотора, равный 0,9

При турбоприводе расход пара паровой турбиной (в *кг* острого пара на *кг* сжатого пара)

$$d = \frac{h}{H\eta_к\eta_{т.о}} \qquad (144)$$

где $h$ — увеличение теплосодержания сжимаемого пара

$H$ — полный теплоперепад в паровой турбине

$\eta_к$ — к п д компрессора, равный 0,6,

$\eta_{т.о}$ — относительно эффективный к п д паровой турбины равный 0,5 — 0,58

В качестве теплового насоса наибольшим распространением пользуется инжектор, схема которого приведена на рис 108, *а* Пар высокого давления, проходя через сопло Лаваля *1*, расширяясь, приобретает кинетическую энергию Через штуцер *4* в камеру смешения *2* поступает пар из паропровода низкого давления Острый пар при больших скоростях сжимает пар низкого давления в камере сжатия *3* Тепловой насос-инжектор в теплосиловых установках служит для сжатия отборного или мятого пара паровой турбины

[illegible] чем м[illegible] [illegible] На ри[illegible] 108 б приведена [illegible] компрессора

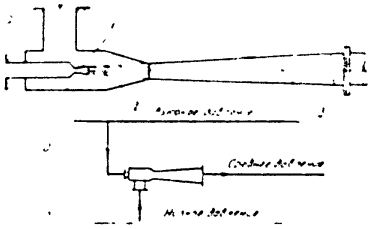


Рис 108 Тепловой насос инжектор

Основные показатели установок с термокомпрессорами у нас в Союзе приведены в табл 23

Таблица 23

**Основные показатели установок с термокомпрессорами в СССР**

| № установки | Острый пар | | Мятый пар I | | Сжатый пар | | $\eta_к$ | Расход пара $\gamma$ кг | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $p$ ата | $t$ С | $p$ ата | $t$ С | $p$ ата | $t$ С | | острого | мятого | сжатого |
| 1 | 29 | 400 | 7 | 245 | 10 | 283 | 0,22 | 11,6 | 8,5 | 20,1 |
| 2 | 31 | 417 | 10,5 | 270 | 12 | 350 | 0,20 | 9,3 | 14 | 23,3 |
| 3 | 21 | 400 | 2,8 | 290 | 3,7 | 300 | 0,23 | 8×3 | 11,3×3 | 55 |

Современная теплотехника стремится к использованию низкотемпературных источников тепла, в основном теплой отбросной воды теплосиловых установок, теплого воздуха и даже тепла природных водоемов — прудов, рек, озер, теплых ключей и т. д путем применения теплового насоса в виде обращенной холодильной установки

Принцип такой установки в 1926 г под названием «Динамическое отопление» предложен проф. Тимирязевской сельскохозяйственной академии Михельсоном Схема простейшей установки теплового насоса приведена на рис 109

Компрессор 1 сжимает газообразный аммиак, сернистый ангидрид или фреон ($CFCl_3$). При сжатии температура газа повышается. В конденсаторе *3* охлаждающая вода отнимает тепло рабочего вещества, которое переходит в жидкое состояние. Проходя через дроссель клапана *4*, вещество расширяется, ис-



[illegible]ряется и температура его снижается Теплая вода источника в испарителе сообщает рабочему веществу тепло, заканчивая его переход в газообразное состояние Эта вода потеряв тепло, отводится при низкой температуре

Фактически тепло естественного источника в испарителе передается рабочему веществу К этому теплу прибавляется работа сжатия компрессора, превращенная в тепло, и в конденсаторе турбины передается нагреваемой воде

Таким образом, становится возможным извлечение тепла из источников с низкой температурой Коэфициент полезного действия такой установки очень высок

Согласно началу Карно термический к п д идеального теплового двигателя

$$\eta_t = \frac{T_1 - T_2}{T_1},$$

где $T_1$ — температура начального состояния вещества,

$T_2$ — температура конечного состояния

Если принять для примера

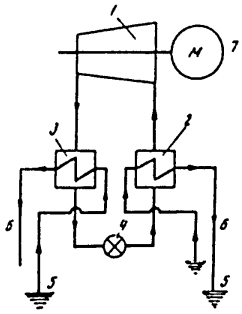


Рис. 109 Схема теплового насоса: *1* — компрессор *2* — испаритель холодильной установки, *3* — конденсатор холодильной установки *4* — дроссельный клапан, *5* — источник естественного тепла (водоем) *6* — сбросные трубопроводы соответственно из испарителя и конденсатора, *7* — мотор.

$t_1 = 250°$ С, $t_2 = 0°$С, $T_1 = 523°$К, $T_2 = 273°$К (в абс. градусах), то на 1 *кг* вещества при теплоемкости $c_p = 1$, превращено в работу

$$\frac{T_1 - T_2}{T_1} c_p (T_1 - T_2) = Q \text{ ккал/кг}.$$

$$Q_1 = \frac{523 - 273}{523} \cdot 250 = 250 \cdot 0{,}478 = 119{,}5 \text{ ккал/кг}$$

За счет этого тепла произведена работа

$$L_1 = 119{,}5 \cdot 427 = 51000 \text{ кгм/кг}.$$

Не превращено в работу

$$Q_2 = 250 \cdot (1 - 0{,}478) = 250 \cdot 0{,}522 = 130{,}5 \text{ ккал/кг}.$$

Тепловые единицы, которые могут быть превращены в работу (119,5 *ккал/кг*) иногда называют «карно», те, которые не могут

быть превращены в работу (130,5 ккал/кг) основными единицами

В установке (рис. 110) тепло подводимое из источника через испаритель 2 дает основное тепло а работа компрессора превращается в карно

Если тепло речной воды [illegible] основное [illegible] в нашем примере $Q_1$ = 130,5 ккал/кг а компрессор сообщает карно $Q_2$ = 119,5 ккал/кг и 1 ккал эквивалентна 427 кгм то очевидно, для получения 1 ккал придется затратить на работу компрессора

$$\frac{427}{2{,}09} = 0{,}478 = 204 \text{ кгм}$$

Остальные 427 − 204 = 223 ккал/кг мы получим за счет низкотемпературного источника

Коэффициент теплопроизводительности установки

$$A_p = \frac{427}{204} = 2{,}09, \text{ т. е. } 209\%.$$

Это показывает, что для получения одной калории высокого потенциала мы затратили главным образом природное тепло

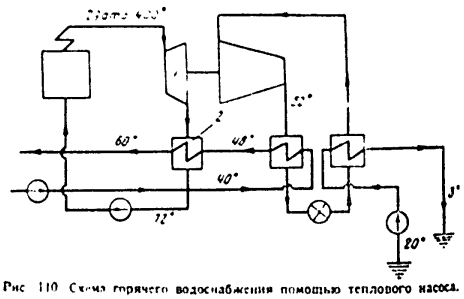



Рис. 110. Схема горячего водоснабжения помощью теплового насоса.

и лишь в незначительной мере дополнили теплом, полученным за счет работы компрессора. Практическое приложение этой идеи для горячего водоснабжения дано на рис. 110.

Компрессор приводится в движение паровой турбиной 1, конденсатор которой 2 служит бойлером для догрева воды перед ее направлением в сеть.

Если, как предполагает проф. Михельсон, привод компрессора производить помощью ветряного двигателя или от гидростанции, т. е. использовать природную механическую



энергию отбросов тепло заводов и коммунальных предприятий то в течение всей зимы можно обеспечить отопление зданий без затраты топлива

Тепловой насос может быть использован для испарительных и дистилляционных установок. Продуктивность таких испарительных установок очень высока и доходит до 22,6 *кг* дистиллированной воды на киловатт-час при коэффициенте теплопроизводительности $A_p$ = 4,8 = 14,7

Испарительная установка с тепловым насосом значительно эффективнее многокорпусных испарителей. Особенно желательно применение тепловых насосов при использовании электроэнергии, получаемой на гидростанциях или на отходящем тепле металлургических печей

Тепловые насосы уступают в экономичности обычным ТЭЦ, но приготовление горячей воды значительно эффективнее производить тепловыми насосами

## 4. Отвод конденсата

В подавляющем большинстве случаев греющие приборы, в которых теплоносителем служит пар, строят поверхностного трубчатого типа. Правильная работа таких приборов предполагает своевременное удаление конденсата.

Кроме того, из греющего прибора должен удаляться только конденсат, но ни в коем случае не пар. Устройство, обеспечивающее правильное отделение конденсата, называется конденсационным горшком или просто водоотводчиком.

Кроме правильного отвода конденсата, весьма важно собрать и использовать его для питания паровых котлов. Часто отводу и сбору конденсата не уделяют должного внимания: конструкцию конденсационных горшков выбирают неправильно, в эксплоатации допускают их загрязнение, клапаны и затворы не всегда бывают притерты и пригнаны, и т. д. Все это ведет к большим тепловым потерям. Как показала практика, правильный отвод и сбор конденсата в несколько раз уменьшает удельные расходы топлива на производстве.

Простейшим водоотводчиком может служить дроссельный клапан игольчатого типа, присоединенный к штуцеру греющего прибора, предназначенному для отвода конденсата. Такое устройство возможно только при равномерной нагрузке паропроводов или аппаратов, а следовательно, и водоотводчика.

При загрязнениях конденсате такое устройство засоряется и прекращает работу.

В качестве водоотводчика может служить гидравлический затвор (рис. 111). Штуцер для выхода конденсата 1 присоеди-

[illegible] Пар уде[illegible] [illegible] пара в [illegible] Конденсат вытекает из трубки 2 [illegible] мере накопления

Гидравлический затвор может быть применен только для низких давлений, так как уже при давлении 1 ат высота столба конденсата должна составлять 10 м

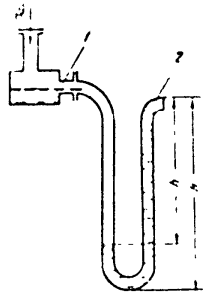


Рис 111 Гидравлический затвор

Современные водоотводчики устроены так, что по достижении конденсатом определенного уровня он удаляется Если на сосуде водоотводчика имеется водомерное стекло то отвод конденсата можно производить, наблюдая за уровнем конденсата в стекле, и опорожнять водоотводчик, открывая спускной кран Обычно эта операция автоматизирована

Наибольшее распространение имеют поплавковые водоотводчики с закрытым или открытым поплавком

На рис 112 показан водоотводчик с закрытым поплавком. Конденсат, накапливаясь в водоотводчике, поднимает поплавок *1*, перемещая рычаг игольчатого клапана *2*, через который конденсат выдувается наружу, при снижении уровня поплавок опускается и закрывает клапан Особенностью этого водоотводчика является разгруженный клапан, что дает возможность применять этот тип водоотводчиков и при высоких давлениях пара (паропроводы ТЭЦ)

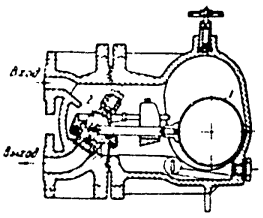



Рис 112 Водоотводчик с закрытым поплавком

На рис 113 показан водоотводчик с открытым поплавком Поплавок *1* этого водоотводчика имеет вид открытого сосуда, из которого конденсат выводится наружу через трубку *2* Выводное отверстие закрывается клапаном *3*, скрепленным с поплавком помощью штанги *4* В процессе работы полость *5* наполняется конденсатом Пустой поплавок всплывает и закрывает клапан

Когда конденсат целиком заполнит полость и начинает переливаться через край поплавка, поплавок тонет и открывает клапан Через трубку и клапан конденсат давлением пара выбрасывается наружу Тогда опорожненный поплавок всплывает и закрывает клапан Этот тип водоотводчика выбрасывает конденсат толчкообразно в то время, как система с закрытым поплавком выпускает конденсат непрерывно.

Выходящий с большой скоростью конденсат (11—25 *м/сек*) разрушающе действует на клапаны Это часто служит основной причиной прекращения действия конденсатоотводчиков С этой точки зрения лучше применять конденсатоотводчики с открытым поплавком, так как в них клапан или полностью открыт, или большую часть времени полностью закрыт Закрытые поплавки часто дают течь, тонут и водоотводчик вообще перестает работать.

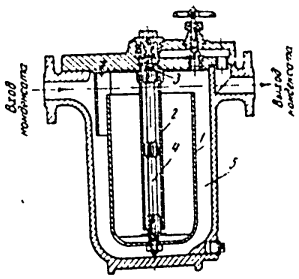



Рис. 113. Водоотводчик с открытым поплавком «Главармалит».

Часто для дренирования паропроводов, корпусов турбин, отвода конденсата из греющих аппаратов и т. д. вместо водоотводчиков ставят диафрагмы с малым отверстием Такая диафрагма, работая непрерывно, отводит конденсат, накапливающийся в приборе или трубопроводе.

Чтобы через подпорную шайбу не терялся пар, необходимо предварительно подсчитать возможный расход конденсата с тем, чтобы отверстие в шайбе рассчитать для пропуска этого количества

Работа водоотводчика зависит от режима работы паропроводника. Если водоотводчик мал, весь конденсат не отводится, а накапливается в аппарате, нарушая его работу.

Если водоотводчик велик, конденсат, вообще не успевает накапливаться. Быстро удалив конденсат, такой водоотводчик будет выпускать пар, что ухудшит экономичность установки. При значительном пропуске пара давление в водоотводчике и аппарате, им обслуживаемом, падает, следовательно, падает и температура, а вместе с ней и производительность аппарата (подогревателя, испарителя)

Все сказанное выше обусловливает необходимость выбора водоотводчика путем теплового расчета.

Надо сомневаться, что расход выходного сечения водоотводчика [illegible] конденсата был бы [illegible] лишним, так как при выпуске конденсата из водоотводчика в атмосферу происходит самоиспарение конденсата, пар же занимает весьма большой объем и требует [illegible] сечения выпускного клапана. Это можно подтвердить следующим расчетом.

Количество получаемого пара может быть определено по тепловому балансу

$$c t_{к} = (1 - x) c t_{нар} + x i_{нар},$$

откуда

$$x = \frac{t_{к} - t_{нар}}{i - t_{нар}} \text{ кг/кг} \qquad (145)$$

где $t_{к}$ - температура конденсата внутри водоотводчика,

$t_{нар}$ - температура насыщенного пара при наружном давлении $P_{нар}$,

$i$ - теплосодержание насыщенного пара при температуре у выхода конденсата из водоотводчика, равной $t_{нар}$,

$x$ - количество пара образовавшееся в результате самоиспарения.

Теплоемкость конденсата $c$ принята равной единице.

Если, например, принять, что $t_{к} = 144°$ (что соответствует давлению в водоотводчике 4 *ата*) и $t_{нар} = 100°$ при наружном давлении 1 *ата*, то окажется, что каждый килограмм конденсата, выходящий из водоотводчика, образует 0,087 *кг* пара, что по объему составит 1,0—0,087 = 0,913 *л* конденсата, а количество пара составит 148 *л* при удельном объеме пара при 1 *ата*. При таких количествах пара давление $P_{нар}$ непосредственно за водоотводчиком будет выше, следовательно, будет меньше разность давлений

$$\Delta P = P_{к} - P_{нар},$$

а значит, упадет и производительность водоотводчика.

Расчет при выборе водоотводчика может быть проведен следующим образом.

Дано расход конденсата $D_{нар}$ *кг/час*, давление внутри водоотводчика $P$ *ата*, давление наружное $P_{нар}$, теплосодержание $t_{нар}$ *ккал/кг*.

Определим количество пара от самоиспарения. По уравнению теплового баланса водоотводчика

$$x = D \frac{t_{к} - t_{нар}}{i - t_{нар}} \text{ кг/кг} \qquad (146)$$

При $t_{нар}$ и $P_{нар}$ определим по таблицам для насыщенного водяного пара удельный объем $v_{нар}$.



Диаметр клапана определим по выражению

$$d = \sqrt{\frac{4 v_{нар} x}{\pi \cdot 30 \cdot 0{,}70}} \text{ мм} \qquad (147)$$

По полученному диаметру подберем ближайший больший водоотводчик.

Размер некоторых водоотводчиков приведен в табл. 23.

Таблица 23

**Основные размеры водоотводчиков**

| № размера | Внутренний диаметр трубки $d$, мм | Расстояние между фланцами $z$, мм | Диаметр фланца $D$, мм | Расстояние, мм: от оси выходного отверстия патрубка до основания $h$ | Расстояние, мм: от оси выходного отверстия патрубка до основания $h'$ | Производительность, кг/час |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 19 | 95 | 285 | 205 | 130 | 1 000 |
| 1 | 25 | 110 | 340 | 240 | 150 | 3 000 |
| 3 | 38 | 140 | 475 | 370 | 250 | 7 000 |
| 4 | 50 | 160 | 540 | 475 | 310 | 10 000 |

Для проверки производительности конденсатоотводчиков служит формула инж. Строганова:

$$Q_{max} = 32 d^2 \sqrt{P_{к} - P_{нар}} \text{ кг/час}. \qquad (148)$$

Если $Q_{max} > D$, водоотводчик удовлетворяет поставленному условию.

Водоотводчик всегда должен иметь обводную линию для возможности продувки дренируемой системы на прямую, что часто необходимо при пуске.

Иногда обводную линию устраивают в самой крышке.

Устанавливать водоотводчики следует ниже пароприемников и обязательно по уровню, во избежание одностороннего износа клапана.

Одним водоотводчиком можно обслуживать несколько пароприемников, при условии, что в них давление пара будет одинаковым, а между каждым пароприемником и коллектором будет поставлен обратный клапан. Лучше для каждого пароприемника иметь отдельный водоотводчик.

При выводе конденсата из аппаратов вверх к водоотводчику обязательно устанавливать обратный клапан во избежание проникновения конденсата из водоотводчика в пароприемник при понижении в последнем давления.

Как и всякий механизм, водоотводчики нуждаются в постоянном уходе и контроле. Во время работы их следует [illegible]

[illegible]

[illegible] количество воды $g_1$ с температурой [illegible] уровня $g_2$ — количество конденсата, поступившее в бачок

$$g_к = g_2 - g_1$$

Обозначим теплосодержание конденсата через $i_к$ ккал/кг, $c_1$ и $c_2$ — соответственно теплоемкость жидкости. Составим уравнение теплового баланса

$$[illegible] \quad (149)$$

$$i_к = \frac{[illegible]}{g_2 - g_1} \text{ ккал/кг}$$

Температура греющего пара, поступающего в приемник, равна $t_{пр}$.

При $t_к > t_н$ водоотводчик пропускает пар

## 5. Подогрев газов твердыми телами

Принцип действия аппаратов для подогрева газов твердыми телами заключается в том, что нагретые тела омываются газом, который при этом нагревается. На металлургических заводах в этих целях применяют кауперы, регенераторы и рекуператоры.

Рекуператоры были рассмотрены ранее, в начале настоящей главы.

Отличительной особенностью теплообмена в регенераторах является теплоаккумулирующая насадка, через которую попеременно протекает нагревающий и нагреваемый газовые потоки. Вследствие этого для получения необходимой теплопроизводительности требуется два параллельных регенератора, один из которых должен нагреваться, в то время как другой — нагревать газ или воздух.

В случаях нагрева газа и воздуха одновременно применяется устройство двух пар регенераторов.

На рис. 114 показана схема мартеновской печи, работающей на жидком топливе.

Перекидной клапан *3*, периодически изменяет направление воздушного потока. Воздух, проходя, например, через левую регенеративную насадку *2*, нагревается и поступает в рабочее пространство печи *1* для горения топлива. Отходящие дымовые газы проходят в правую насадку *2*, которая нагревается за счет тепла раскаленных газов. Через определенный промежуток времени перекидной клапан перекладывают, тогда воздух устремляется через другую насадку, в данном случае через правую. Одновременно включают правую форсунку и выключают левую. Отходящие газы направляют в левую насадку, охлажденную холодным воздухом, и т. д.

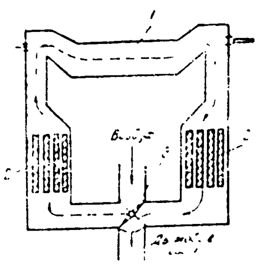


Рис. 114. Схема печи с воздушным регенератором

Регенеративный подогрев имеет широкое распространение в промышленных печах, особенно в высокотемпературных, требующих для осуществляемого технологического процесса подогрева воздуха или воздуха и газа до 900—1200°C.

Регенеративные насадки выполняют, как правило, из шамотного кирпича, имеющего точку начала размягчения выше 1580—1750°C и хорошую сопротивляемость сжатию, разъеданию расплавленными шлаками, а также растрескиванию при частых изменениях температур.

Периодичность работы и необходимость частых переключений таких устройств требует специальной конструкции затворов.

Современные конструкции затворов имеют водяное охлаждение. Охлаждается водой чугунная направляющая рама, а также заслонка, которая изготовлена в виде плоской литой или сварной коробки. Отвод и подвод воды к ней осуществляют гибкими шлангами. Внешний металлический кожух дает затвору газоплотность. Наклонное расположение затвора способствует лучшему прилеганию его к направляющим плоскостям.

Перемещение затвора осуществляется лебедкой с приводом от электромотора. В настоящее время на многих заводах открытие и закрытие затворов производится автоматически; первичным импульсом для автомата, управляющего затвором, служит температура верхних или нижних рядов регенеративной насадки, в последнее время все шире находит применение схема перекидки по времени.

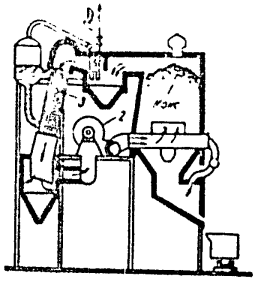


Рис. 115. Установка для сухого тушения кокса.

При мокром тушении с помощью воды получается пар атмосферного давления, обычно теряемый в атмосферу без использования.

Сухое тушение получило промышленное применение с 1925—1930 гг. Сущность этого способа заключается в следующем.

Раскаленный кокс транспортируют от коксовальной печи в специальном вагоне и загружают с температурой около 1000°С в коксотушильную камеру *1* (рис. 115). В эту камеру вентилятором *2* вдуваются инертные газы, образовавшиеся в результате тушения кокса (азот и углекислота), которые, проходя через слой кокса, нагреваются до 700—880°С и направляются в котел-утилизатор *3*. Охлажденные в нем газы с температурой 220—260°С поступают снова к вентилятору *2* и затем в камеру тушения.

Благодаря такой замкнутой циркуляции, физическое тепло раскаленного кокса в значительной своей части (на 70—75%) используется для выработки пара. По опытным данным на 1 *т* кокса получается 0,35—0,45 *т* пара при давлении 5—14 *ата*, что полностью покрывает потребность в нем коксохимического производства.

Дополнительно следует отметить, что при сухом тушении кокса несколько улучшаются его технологические свойства.

## 6. Подогрев жидкостей (без теплопроводных перегородок)

[illegible]

Барботаж имеет ряд преимуществ, основным из которых является полное использование теплоты газа или пара.

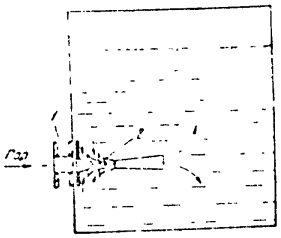


Рис. 116. Инжектор смешения (барботер).

Кроме того, при выходе пузырьков газа в нижних слоях жидкости они поднимаются наверх, увлекая за собой частицы жидкости и создавая естественную циркуляцию. Это способствует выравниванию температур в массе жидкости. Пропуск газа или пара производится через дырчатые трубы, уложенные на дно бака.

Для подогрева воды в баках, а также для конденсации мятого пара, например паровых питательных насосов, применяют инжектор, устанавливаемый в баке.

На рис. 116 изображена установка струйного инжектора для конденсации пара и для подогрева воды в баке. Пар входит в патрубок *1* и в виде струи выходит через сопло *2*. Вода в баке увлекается паром и через кольцевые щели проходит к центру потока, конденсируя пар и нагреваясь при этом. Все теплосодержание пара отдается подогреваемой жидкости.

Такие способы подогрева жидкостей имеют и отрицательные стороны. При барботаж[illegible]ощью газов возможно получение нежелательных [illegible]динений. Кроме того, требуется, [illegible]ным.

[illegible] помощью струйного инжектора [illegible] чистота пара.

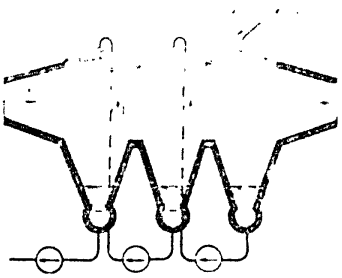


Рис. 117. Экономайзер Сильницкого

сдвоенных насосов пар получается с примесью масла и подогревать воду этим паром, пропуская его в струйный инжектор, нерационально.

В случае применения инжектора недостатком является увеличенное противодавление в выхлопной трубе при выходе пара под горизонт воды.

К числу приборов, нагревающих жидкости помощью газов путем смешения, следует отнести водоповерхностный экономайзер Сильницкого (рис 117).

Этот экономайзер предназначен для использования тепла отходящих газов в случаях сжигания топлива, содержащего исключительно большое количество влаги. В этих случаях скрытая теплота парообразования составляет значительную долю от теплотворной способности топлива, и ее использование приобретает большое значение. Использование скрытой теплоты парообразования в водоповерхностном экономайзере достигается путем промывки продуктов горения мелкораспыленными мощными потоками воды, которая нагревается за счет конденсации паров, содержащихся в дымовых газах.

Таким образом экономайзер Сильницкого по схеме работы аналогичен смешивающему конденсатору. Казалось бы, в результате подобного подогрева воды должен получаться достаточно загрязненный конденсат. В действительности количество нагреваемой воды во много раз больше количества пара, кон-



[illegible] продуктов горения и загрязнение воды не [illegible]

Работающие по [illegible] принципу экономайзеры дают нагрев [illegible] 70° но применение этой воды возможно не во всех случаях, так как в результате растворения в воде газов и серы применение ее не только для питания котлов, но даже для отопительных систем оказывается невозможным.

Из числа аппаратов для нагрева и даже испарения жидкостей в потоке газа наиболее часто применяются скрубберы.

Скруббер (рис 118) представляет собой цилиндр, внутри которого имеется насадка.

Иногда в качестве насадки применяют щебень или куски кокса по возможности одинакового размера, наполняющие по всему сечению большую часть цилиндра.

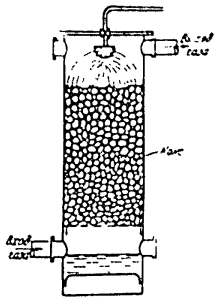


Рис. 118 Скруббер

В настоящее время в качестве насадки часто применяют металлические кольца, представляющие собой мелконарезанные куски труб высотой, равной диаметру, в сумме внутренняя и наружная поверхность кольца равна $2\pi d^2$, т. е. вдвое больше поверхности шара того же диаметра.

Кольца, будучи в беспорядке завалены в цилиндр, образуют лабиринт каналов, где газы движутся с большой скоростью, совершая многочисленные повороты. При этом значительно увеличивается время пребывания газа в аппарате; все это способствует теплообмену между газом и жидкостью.

Поверхность нагрева, образуемая кольцами, зависит от диаметра колец. На 1 $м^3$ заполненного скруббера поверхность нагрева характеризуется следующими данными:

| | | | |
|---|---|---|---|
| Внутренний диаметр кольца, *мм* | 15 | 25 | 50 |
| Поверхность нагрева, $м^2/м^3$ | 345 | 225 | 110 |

Насадка в скруббере оказывает значительное сопротивление проходу газов, что зависит от видимой скорости движения газа. (Под видимой скоростью понимают скорость того же количества газа или воздуха, которая получится, если в скруббере нет никакой насадки).

При диаметре кольца 25 *мм* видимая скорость газа — 1 *м/сек*, сопротивление газа — 25 *мм* вод. ст. При диаметре кольца

[illegible] влаги [illegible] в виде твердого тела.

Сушка — длительный и сложный процесс, так как при этом необходимо сообщить жидкости для перевода ее в пар скрытую теплоту парообразования, значение которой весьма велико. Для сокращения расхода тепла и уменьшения срока сушки производят обезвоживание продукта прессованием, фильтрацией и центрифугированием.

Тепло может сообщаться обезвоженному продукту или через перегородку или с помощью нагретых газов (обычно воздуха). В соответствии с этим различают контактные и воздушные (или газовые) сушилки.

Теплоносителем в контактных сушилках служит пар, горячая вода, а при очень высоких температурах — горячее масло.

Продукт через разделяющую стенку должен быть подогрет до температуры сушки, т. е. до температуры, при которой заключенная в нем вода начинает испаряться. Эта температура должна в нем поддерживаться во все время сушки. Кроме того, необходимо сообщать количество тепла, необходимое для испарения жидкости.

В контактных сушилках температура сушки равна температуре кипения воды.

При атмосферном давлении чистая вода кипит при 100°, но для воды, в которой растворены или примешаны другие вещества, условия кипения другие. Растворенные в воде вещества повышают температуру кипения. Это явление называется депрессией.

Депрессия увеличивается с увеличением концентрации. В процессе сушки концентрация все время изменяется и к концу сушки станет максимальной, следовательно и депрессия будет иметь максимальное значение. Поэтому вещества, растворенные в воде, имеют температуру сушки значительно выше 100°, причем повышение температуры идет по мере сушки.

Если вещество нерастворимо в воде, влага выделяется из него при 100° лишь до определенного предела, дальнейшее вы-



[illegible]ение [illegible] при более высокой температуре. Этот предел называется пределом гигроскопического состояния и влага, содержащаяся до этого предела, гигроскопической. Влага, оставшаяся в материале выше этого предела, носит название капиллярной.

Может оказаться, что к концу сушки для испарения влаги понадобятся температуры, для получения которых давление пара должно быть повышено до 4—5 *ата*. В этих случаях применяют сушку под вакуумом.

При вакууме, как известно, температура кипения понижается, следовательно можно использовать пар более низких давлений.

При выпарке 1 *кг* греющего пара удаляется 1 *кг* воды, однако вследствие неизбежных потерь, расход пара на 1 *кг* выпаренной воды составит 1,2—1,5 *кг/кг*.

Существующие контактные сушилки могут быть разделены на периодически действующие и непрерывно действующие.

К периодически действующим относятся шкафы и скребковые сушилки, к непрерывно действующим — вальцовые и барабанные сушилки.

Шкафы состоят из полых стальных плит, образующих полки, в которые подается пар. Образовавшийся конденсат отводится через водоотводчик. На полки устанавливают противни с материалом, подлежащим сушке. Расстояние между полками для вспенивающихся веществ принимают 45 *мм*, для пенящихся 100 *мм*. Высота шкафа для удобства обслуживания не превышает 1,5 *м*. На 1 $м^2$ полки приходится нагрузка около 12 *кг*.

Продолжительность сушки под вакуумом при удалении 20% влаги — 1 час; 30—40% — 2 часа; 50—60% — 3 ч. 30 м.

При работе под вакуумом шкаф должен иметь конденсатор влаги и вакуумнасосы.

Барабанные трубчатые сушилки (рис. 119) применяют для сушки топливной мелочи (бурый уголь, фрезерный торф и т. п.). Сушилка состоит из вращающегося барабана *1*, диаметром до 3,6 *м*, с двумя трубными решетками *2*, в которые развальцованы трубки диаметром 100 *мм*, длиной до 8 *м*.

Через загрузочную воронку *3* топливо равномерно распределяется по трубкам. Пар поступает в межтрубное пространство. Барабан имеет наклон 10°, вследствие чего продукт сползает по трубам и высушенный поступает в камеру и воронку *4*.

Пар подается через полый вал *5*, а конденсат выводится через полый вал *6*. Барабан вращается при помощи специального зубчатого привода *7*. Число оборотов барабана 8—19 в минуту.

Камера выгрузки *4* через патрубок *8* соединена с отсасывающим вентилятором для удаления пара.

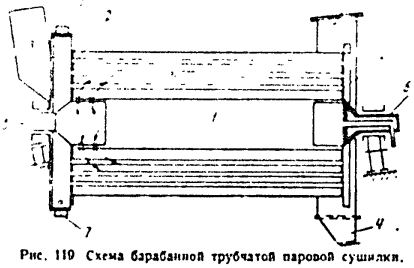


Рис. 119 Схема барабанной трубчатой паровой сушилки.

ность — 2,5—3 *кг* влаги в час на 1 $м^2$ площади, мощность мотора — 18 *квт*.

Эти сушилки для топлива применяют при наличии свободного невысокой стоимости пара, а также если сушка газами опасна в пожарном отношении

### Воздушная сушка

Воздух, служащий для сушки, предварительно подогревается в калорифере. Иногда в самой сушильной камере ставят дополнительный калорифер. Воздух присасывается или нагнетается через сушильную камеру. Материал поступает через приемную воронку и движется против течения воздуха.

По конструкции воздушные сушилки делятся на сушилки с однократным использованием воздуха и сушилки с рециркуляцией воздуха.

Сушилки с однократным использованием воздуха изготовляют в виде шкафов и целых камер, где материал лежит на ситах. Этот тип сушилок требует значительного количества рабочих для обслуживания.

Механизированным типом камерных сушилок являются тоннельные или канальные сушилки, при которых материал уложен на вагонетки. По мере сушки вагонетки по одной выталкивают и вкатывают новые.

К сушилкам непрерывного действия относятся барабанные сушилки (рис. 120).



Барабанная сушилка наиболее универсальна Горизонтальный с небольшим уклоном (1—3°) цилиндр *1* имеет внутренние насадку *2* которая перемешивает и пересыпает материал

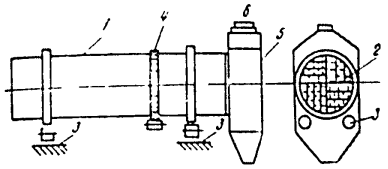


Рис 120 Барабанная газовая сушилка.

Благодаря наклону барабана материал постепенно сползает и выходит из него уже высушенным.

Диаметр барабана этих сушилок — 700—3000 *мм*. Длина барабана изменяется в пределах от (4,5—7) *D*. (*D* — диаметр барабана). Барабан вращается лежа на роликах *3* с ребордами, которые удерживают его от сползания по уклону.

Вращение барабана осуществляется зубчатой передачей *4*. Выходное отверстие барабана входит в камеру выгрузки *5*. Высушенный материал падает вниз, а отработавший воздух удаляется через воздуховод *6*.

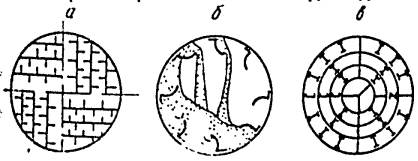


Рис. 121. Типы насадок газовых сушилок.

Так как сушку в барабанных сушилках часто производят газом, то конец, противоположный камере выгрузки, вставляется в смесительную камеру, газ в которую поступает из специальной топки, а воздух для охлаждения газа — через щелевые отверстия. Топочная камера снабжена дымовой трубой, используемой на время растопки. За камерой выгрузки устанавливают вентилятор, засасывающий горячие газы и пар после сушки.

Насадка в барабанных сушилках (рис. 121) применяется трех типов: а) квадрантная, б) лопастная и в) перевалочная

[illegible] разделение

[illegible]

[illegible] уноса

[illegible]

Скорость воздуха и газов в сушилке принимают в пределах 2—4 м/сек. При сушке концентратов и сушимых при обогащении руд скорость принимают до 1 м/сек.

Для расчетов вводят величину, называемую напряжением объема сушилки, выражающую количество выпаренной воды в кг/час на 1 м³ сушильного пространства.

В табл. 24 даны напряжения объема для некоторых материалов.

Таблица 24

**Напряжения объема сушилки для некоторых материалов**

| Материал | Влажность, % начальная $w_1$ | Влажность, % конечная $w_2$ | Температура, °С начальная $t'_1$ | Температура, °С конечная $t'_2$ | Напряжение, кг/м³ час | Тип насадки |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Подмосковный уголь | 30 | 10 | 430 | 120—150 | 40 | Лопастная |
| Сланец | 28 | 7 | 376 | 105 | 39 | » |
| Глина | 25 | 2,7 | 500—1000 | 70—80 | 68 | » |
| Мел | 51 | 21 | 540 | 270 | 32 | » |
| Шлам обогатительных фабрик (65% угля, 35% воды) | 50 | 1 | 750 | 120 | 120 | Распределительная |
| Колчедан | 8,5 | 0 | 480 | — | 72 | Лопастная |
| Фрезерный торф | 48,5 | 20,8 | 400 | 100 | 72 | » |

Для расчета сушилок пользуются диаграммой (рис. 122).

По оси абсцисс диаграммы отложено влагосодержание $d$ в г/кг сухого воздуха; по оси ординат — теплосодержание $I$ в ккал/кг сухого воздуха. Кроме того, нанесены линии влажности $\varphi$ в процентах и кривые температур.

*Пример.*

Дано: $t_0 = 20°$; $\varphi_0 = 60\%$; $t_1 = 95°$; $t_2 = 35°$; $\delta_1 = 0°$.

Аналитический: $d_0 = 8{,}91$; $d_2 = 32{,}84$, $\Delta d = 23{,}93$ г/кг.

Расход сухого воздуха на 1 кг испаренной воды

$$l = \frac{1000}{23{,}93} = 41{,}8 \text{ кг/кг}.$$

$J_0 = 10{,}19$; $J_1 = J_2 = 28{,}49$, $\Delta J = 18{,}30$ ккал/кг.



Расход тепла [illegible] = 18,3 : 41,8) = 765 ккал/кг

[illegible] диаграммы

$$= \frac{[illegible]}{[illegible]} = \frac{16{,}50}{39} = 41{,}5 \text{ кг/кг}$$

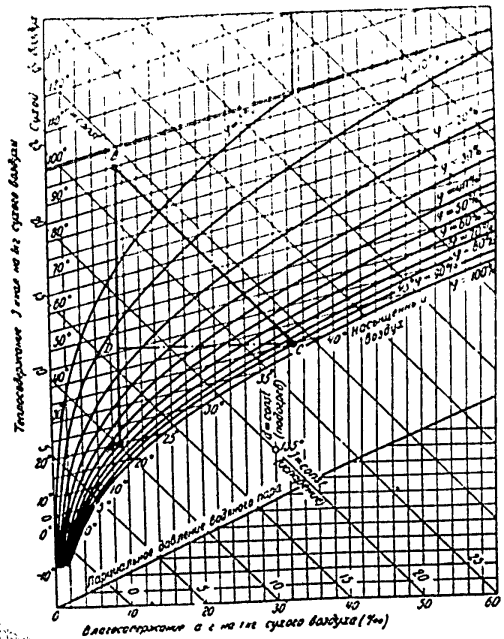



Рис. 122. $Jd$-диаграмма для влажного воздуха

[illegible] ординат: 1 мм = 0,31 ккал/кг, масштаб абсцисс: 1 мм = 0,62 г/кг.

[illegible] $= 0{,}31$

[illegible] $= 0{,}62 \cdot 1000 = 500 \frac{AB}{LC} = 500 \cdot \frac{60}{39{,}0} = 770$ ккал/кг.

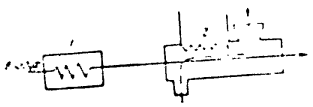


Рис. 123. Схема воздушной сушилки

цесс сушки в сушильной камере 2 при $t = const$, т. е. при постоянном теплосодержании. Следовательно, решение задачи о сушке сводится к проведению ломаной линии $ABC$ (рис. 122).

Для пояснения указанного проведем расчет сушилки на конкретном примере.

*Пример.*

Примем для простоты, что потерь в сушилке не происходит. Начальное состояние воздуха $t_0 = 20°C$, $\varphi_0 = 60\%$. Калорифер нагревает воздух до $t_1 = 95°C$. Уходящий из сушилки воздух имеет температуру $t_2 = 35°C$.

Определить расход воды и воздуха на испарение 1 *кг* воды.

Процесс в калорифере изображается прямой $AB$ (в точке $A$ температура равна 20°C и $\varphi = 60\%$; в точке $B$ температура равна 95°C) при $d = const$.

В сушилке процесс идет при $t = const$, т. е. по прямой $BC$ (точка $C$ имеет $\varphi = 90\%$ и $t_2 = 35°C$).

Соответственно точке $A$ $d_1 = 9$ *г/кг*, соответственно точке $C$ $d = 33$ *г/кг*.

Количество воздуха на выпаривание 1 *кг* влаги можно получить на основании следующего расчета.

$$W = L \cdot \frac{d_2}{1000} - L \cdot \frac{d_1}{1000}, \qquad (153)$$

где $L$ — весовое количество проходящего через сушилки воздуха;

$d_1$ — содержание влаги в начале процесса, *г/кг*;

$d_2$ — содержание влаги в конце процесса, *г/кг*;

$$L = \frac{1000W}{d_2 - d_1} \text{ кг/час}$$

Разделив обе части на $W$, получим:

$$l = \frac{L}{W} = \frac{1000}{d_2 - d_1} \text{ кг/кг}.$$

Подставив найденные по $Jd$-диаграмме величины, получим

$$l = \frac{1000}{33 - 9} \simeq 42 \text{ кг/кг}.$$



Количество тепла для выпарки 1 *кг* воды

$$q = l(I_1 - I_0) \text{ ккал/кг},$$

где $I_1$ — [illegible] и начальное теплосодержание воздуха, [illegible] воздуха, необходимое для выпаривания 1 *кг* влаги.

Теплосодержание в точке $A$ $I = 10$ *ккал/кг*.

Теплосодержание в точке $B$ — $I = 28$ *ккал/кг*.

$$q = 42(28 - 10) = 760 \text{ ккал/кг}$$

При выходе из сушилки воздух имеет влажность $\varphi_2 = 90\%$.

Конечную температуру $t_2$ нельзя выбирать произвольно, так как точка $C$ всегда должна лежать выше линии $\varphi_2 = 100\%$.

Расчет, приведенный выше, предполагает, что сушилка не имеет отклонений от теоретических расчетов и потери равны нулю.

Фактически теплосодержание отработанного воздуха, в результате потерь или добавочного подвода тепла, меньше или больше теплосодержания воздуха при входе в сушилку, при этом расчет несколько усложняется.

Из других типов воздушных сушилок необходимо отметить ленточную сушилку, которая напоминает камерную, с той разницей, что сита здесь заменены бесконечными полотнищами, и пневматическую, в которой струя горячего воздуха подхватывает и уносит материал, подлежащий сушке.

Такие трубы сушилки применяются для сушки некоторых весьма влажных топлив. Скорость воздуха в трубе 10—20 *м/сек*.

Труба должна иметь достаточную длину. Пневмосушилки применяются, например, в пневмомельницах инж. Ратникова, где сушка комбинируется с размолом угля, ударяющегося о стальную дробящую плиту.

Сушильные установки требуют, кроме основного сушильного агрегата, вспомогательных устройств, к которым в первую очередь относится вентилятор. В сушильной практике рекомендуется держать систему под разрежением.

Крыльчатые вентиляторы, давая большую производительность, создают напор 2—5 *мм* вод. ст.

Центробежные вентиляторы делятся на вентиляторы низкого давления (50 *мм* вод. ст.), среднего (до 200 *мм* вод. ст.) и высокого давления (свыше 200 *мм* вод. ст.).

Прохождение воздуха через топливо требует давления 20—30 *мм* вод. ст., через циклон — до 60 *мм* вод. ст., через фильтры — до 1000 *мм* вод. ст., поэтому в сушилках применяют вентиляторы среднего давления.

Питатели необходимы для равномерной подачи материала в сушилку. Применяются тарельчатые, шнековые и звездчатые питатели, устройство которых описывается в существующих курсах котельных установок.

[illegible]

Общее назначение воздуха [illegible] трубчатых [illegible] при [illegible] установок.

Для обеспыливания применяются циклоны, [illegible] мокрое обеспыливание, волокнистые фильтры и т. д. Эти устройства описывались ранее при рассмотрении методов очистки дымовых газов от летучей золы.

## КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ К ГЛАВЕ VI

1. Перечислить типы теплообменников для жидких и газообразных тел.
2. Охарактеризовать конструкцию трубчатых теплообменников, вопросы их чистки и компенсации расширения.
3. Рассчитать трубчатый теплообменник для случая пар — вода по следующим условиям: $W = 100$ *м³/час*, греющий пар $P = 1{,}2$ *ата*, температура воды при входе в теплообменник $t = 20°$. Перечислить способы увеличения коэффициента теплопередачи в теплообменниках.
4. Роль выпарных аппаратов на ТЭЦ металлургических заводов, схемы и конструкции.
5. Изложить основной принцип тепловых насосов, выполненных по схеме обращенной холодильной установки.
6. Начертить схемы водоотводчика с закрытым и открытым поплавком. Перечислить требования, предъявляемые к водоотводчикам.
7. Начертить схему регенераторов и дать описание их конструкции.
8. Дать описание и эскиз сушилок барабанного типа для сушки паром и воздухом.

---

*ГЛАВА VII*

# ТЕПЛОВЫЕ СЕТИ

## 1. Основные схемы и типы производственных теплопроводов

На металлургическом заводе применяются теплопроводы самого различного назначения, а именно:

а) паропроводы от котлов к турбинам и турбовоздуходувкам, рассчитанным на давление пара 29 *ата* и выше;

б) паропроводы отборного пара сравнительно низких давлений (1,2—7 *ата*), рассчитанные на подачу технологического пара на коксохимический завод, на бойлерную отопительных сетей и т. д.;

в) водопроводы сети отопления, куда тепло подается в виде горячей воды, полученной в бойлерной установке.

Одним из основных факторов, обеспечивающих нормальную и бесперебойную работу теплопровода, является надлежащая схема.

Под схемой теплопровода понимают графическое изображение всех линий теплопровода со всей арматурой и приборами, а также с указанием диаметров.

Схемы паропроводов внутри ЦЭС и ТЭЦ были приведены ранее, в гл. IV.

Паропроводы отопительных систем и технологического пара низкого давления могут быть выполнены, как и паропроводы внутри ТЭЦ, по одинарной, двойной, кольцевой, одинарной с паросборником, двойной с паросборником и комбинированной схемам.

Одинарная магистраль проста, имеет минимальное количество арматуры и достаточно надежна вследствие небольшого числа фланцевых соединений.

Основным недостатком является необходимость отключения всех цехов потребителей в случае даже самого незначительного ремонта паропровода.

Такой паропровод может быть применен лишь тогда, когда обслуживаемые цехи работают в одну или две смены, что дает возможность производить ремонт в нерабочие часы. Одинарный паропровод применяют диаметром до 150 *мм* при длине до 200—300 *м*.

Для надежности рекомендуется фланцевые соединения заменять сваркой встык. Как показала практика, такой паропро-

[illegible] большим количеством арматуры может быть принят [illegible] основной работой, так как требует ремонта и [illegible] раз в год.

Двойная магистраль чаще всего встречается при больших диаметрах изолированных паропроводов (200—300 *мм*) протяжением примерно 700—1000 *м*.

Двойная магистраль сложна, имеет много фланцев и арматуры. Основное преимущество ее — возможность в любое время выключить одну из линий и произвести ремонт. Двойная магистраль легко позволяет произвести переход ко второй очереди предприятия. Для этого в первые годы проектируется понижения скорость пара при работе двойным паропроводом с тем, чтобы при повышенном расходе пара скорость его не выходила за пределы нормы.

Кольцевой паропровод применяется в том случае, когда при наружном паропроводе цех и агрегаты в цехе расположены плотным массивом, а не вытянуты в одну линию.

Недостатком кольцевой схемы является необходимость осуществлять паропровод большого диаметра, рассчитанный на пропуск всего количества пара по всей его длине. Кроме того, необходима установка задвижек, разрезающих паропровод на секции.

Схема с паросборниками применяется как для одинарного, так и для двойного паропровода. Паросборник играет роль центральной распределительной установки вблизи мест разбора пара. На паросборнике устанавливают манометр и термометр, в поблизости паромеры для учета пара, направляемого в цехи. При двойном паропроводе устанавливают два паросборника. Это сохраняет все преимущества двойного паропровода. Как правило, при паросборниках должны быть установлены задвижки на всех штуцерах как входных, так и выходных.

Комбинированные схемы могут быть весьма разнообразными, причем в каждом отдельном случае исходя из местных условий можно предложить много вариантов.

Особенностью схем паропроводов для мятого пара паровых молотов и вообще паровых машин является наличие в схеме маслоотделителей и резервного выхлопа в атмосферу.

Теплофикационные сети для систем районного отопления выполняются по трем схемам: одолучевой, многолучевой с перемычками и кольцевой. Чаще всего сети выполняются по лучевой схеме (рис. 124).

Отдельные лучи расходятся от источника тепловой энергии. Для увеличения надежности лучевой схемы между отдельными лучами делают перемычки, обеспечивающие двустороннее питание отдельных групп абонентов. В нормальных условиях резервные перемычки могут быть выключены.



Если позволяет рельеф местности, тепловые сети рациональ-
ю выполнять кольцевого типа (рис. 125) в виде внешнего или
утреннего кольца охватывающего все распределительные

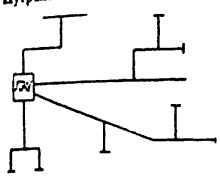


Рис. 124. Лучевая схема теплофикационной сети.

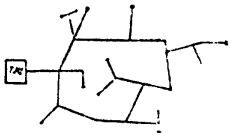


Рис. 125. Кольцевая теплофикационная сеть

пункты. При этом диаметр питательной сети (кольца) сохраняется на всем протяжении постоянным, обеспечивающим питание отдельных районов с двух сторон в случае аварии в сети.

Чрезмерное развитие резервных связей ведет к увеличению числа аварийных мест, а следовательно, к снижению надежности, разрегулировке сети и изменению гидравлического режима при переменной нагрузке.

## 2. Прокладка теплопроводов

Прокладка теплопроводов может быть осуществлена на территории завода и соцгорода двумя путями: в каналах, углубленных ниже уровня земли, или на специальных мачтах, в случае воздушной прокладки.

Подземная прокладка выполняется в каналах проходного или непроходного типа или просто в траншеях, вырытых в грунте (бесканальная прокладка).

Непроходные каналы осуществляются для малого количества труб, не свыше двух труб большого диаметра и не свыше трех четырех труб малого диаметра. Если протяженность сети невелика, следует считать рациональным сооружение каналов с кирпичными стенками и железобетонной плитой, перекрывающей канал. Этот тип канала удобен при теплофикации небольшой производственной площадки (рис. 126).

В местах скрещения, а также в точках, где установлены вентили, задвижки и т. п. устраивают **смотровые колодцы**. Смотровые колодцы устраивают и на прямых участках на расстоянии 50—80 *м* один от другого. Для ремонта линии, проложенной в таком канале, снижают нужное число перекрывающих плит и после окончания ремонта ставят

[illegible] прокладки трубопровода внутри зданий [illegible] применение канальной или бесканальной прокладки.

Одним из распространенных способов прокладки наружных паропроводов является расположение их на мачтах (стойках)

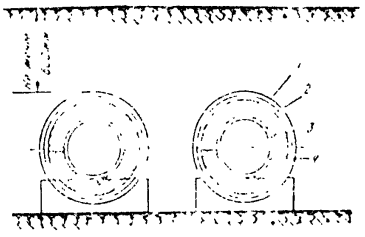


Рис. 128. Бесканальная прокладка:
1 — гудрон; 2 — бетонные сегменты; 3 — цементная штукатурка; 4 — мешковина, пропитанная гудроном.

Основным недостатком такой конструкции является необходимость осуществления тяжелой и сложной изоляции, в то время как канальная и бесканальная прокладки позволяют максимально облегчить изоляцию.

Материалом для мачт чаще всего служит сталь и реже армированный бетон.

Металлические конструкции должны быть максимально легкими, их устанавливают на бетонных, бутовых или даже кирпичных фундаментах.

Стойки опор подвергаются деформации не только под влиянием веса трубы, но и под влиянием ветра, снега, гололеда и особенно горизонтальных усилий, возникающих как результат тепловых деформаций паропровода.

На рис. 129 приведена конструкция стальной мачты для двойного паропровода диаметром 250 *мм*.

Наиболее удачно можно оформить укладку на мачтах паропровода при диаметре труб до 200 *мм* и при высоте около 5 *м*.

Иногда для прокладки применяют эстакаду, которая от мачтовых конструкций отличается тем, что паропровод лежит на жестких фермах, расположенных на специальных, обычно решетчатых, мачтах или бетонных столбах. Эстакада применяется на небольших участках, проходящих над улицами,



[illegible]

[illegible] Проходные каналы — [illegible] бетонные или кирпичные (рис. 127), строят когда число прокладываемых труб велико или трубопровод питает от естественных потребителей, а также при больших диаметрах трубопроводов. В проходных каналах монтажные и ремонтные работы производят без разборки потолка канала. На расстоянии 40—50 *м* один от другого устраивают спускные люки. Проходной канал вентилируется для облегчения условий труда обслуживающего персонала.

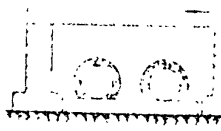


Рис. 126. Непроходной канал с перекрытием из бутовых сводов

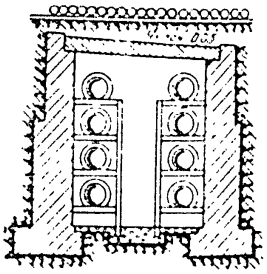


Рис. 127. Проходной канал

Проходные каналы, повышая стоимость сети, одновременно упрощают эксплоатацию многотрубных систем. При дальней передаче от проходных каналов следует отказываться.

Наиболее простым методом прокладки сетей является бесканальная прокладка (рис. 128). Бесканальную прокладку применяют для теплосетей во многих городах Союза. Она имеет ряд бесспорных преимуществ (простой монтаж, снижение потерь тепла и т. п.), однако компенсация тепловых удлинений такой сети затруднена, так как свободное перемещение трубопровода происходит внутри изоляции, а установка компенсаторов требует устройства специальных колодцев. Теплопровод заглубляется в грунт не менее чем на 0,6 *м*.

Воздушная прокладка применяется исключительно для паропроводов, пересекающих территорию завода.

Воздушная прокладка целесообразна, когда грунтовые воды, густая застройка территории, пересеченная местность или необ-

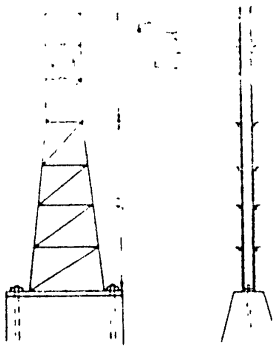


Рис. 129. Паропровод на мачтах

При деревянных эстакадах следует учитывать опасность в пожарном отношении.

Эстакады из армированного бетона применяются лишь в исключительных случаях и длиной не более 15 - 30 м.

Наиболее простым способом прокладки трубопровода по застроенной территории является подвеска его на кронштейнах к наружным стенам зданий. Переходы между зданиями можно делать по эстакадам.

Кронштейны, укрепляемые к стенам здания, изготовляют из балок или швеллеров путем сварки. При установке опор следует, как всегда, помнить о тепловых удлинениях и возникающих при этом усилиях.

### 3. Определение диаметра теплопроводов

Диаметр паропровода может быть определен исходя из количества проходящего пара, давления и температуры перегрева, если пар перегретый.

[illegible]

Эти величины [illegible]

[illegible] Максимально допустимые скорости [illegible] 40 м/сек. Для [illegible] строек [illegible] скорость 30 - 40 м/сек, в двигателях [illegible] - 25 м/сек.

$c$ — [illegible] пара, кг/час;

$d$ — [illegible] диаметр трубопровода, м;

$v$ — удельный [illegible] м³/кг;

[illegible] для [illegible]

Номограмма [illegible] дает возможность определить диаметр паропровода без расчета по двум величинам, [illegible]

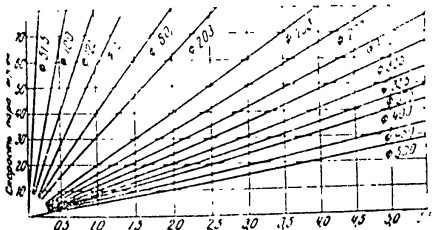



Рис. 130. Номограмма для определения диаметра паропровода

скорости пара (отложенной по ординате) и количеству пара в т/сек (отложенному по абсциссе).

Решим по номограмме следующий пример.

**Пример.**

Дано: $p = 10$ *ата*, $t = 300°C$, $g = 20$ *т/час*.

Определить диаметр трубопровода.

1. Найдем по данным значениям $p$ и $t$ по таблицам для водяного пара удельный объем:

$$v = 0{,}235 \text{ м}^3/\text{кг} \text{ (при } p = 10 \text{ ата}, t = 300°)$$

2. Количество проходящего пара

$$g = \frac{20000 \cdot 0{,}235}{3600} = 1{,}3 \text{ м}^3/\text{сек}$$

3. Принимая скорость $c = 40$ *м/сек*, по номограмме находим [illegible] $d = 203$ *мм*.

[illegible] делена по

(151)

где [illegible]

[illegible] прямых [illegible]

$g$ — ускорение силы тяжести, равное 9,81 $м/сек^2$

Значение $\zeta$ приведено в табл. 25

Таблица 25

| Наименование фасонной части | $\zeta$ | Наименование фасонной части | $\zeta$ |
|---|---|---|---|
| Вентиль нормальный | 4—7 | Колено 90° | 0,4 |
| Вентиль «Косва» | 1—4 2,6 | Переход (сужение) | 2,0 |
| Задвижка | 0,5 | Тройник | 1,0 |
| Обратный клапан | 5 | Тройник | 1,5 |
| Отвод гладкий 90° | 0,2 | Тройник | 3,0 |
| То же, со складками | 0,3 | Водоотделитель | 5—10 |
| То же волнистый | 0,5 | Увлажнитель | 6—12 |

$\beta$ может быть взято по табл. 26

Таблица 26

Коэффициент сопротивления от трения в трубах $\lambda$

| $g$, кг/час | $\lambda$ | $g$, кг/час | $\lambda$ | $g$, кг/час | $\lambda$ |
|---|---|---|---|---|---|
| 10 | 2,03 | 250 | 1,26 | [illegible] | 0,78 |
| 15 | 1,92 | 400 | 1,18 | 1000 | 0,73 |
| 25 | 1,78 | 650 | 1,1 | 1700 | 0,69 |
| 40 | 1,65 | 1000 | 1,03 | 2500 | 0,64 |
| 65 | 1,54 | 1700 | 0,97 | 4000 | 0,595 |
| 100 | 1,45 | 2700 | 0,9 | 6500 | 0,555 |
| 150 | 1,35 | 4000 | 0,84 | 10000 | 0,520 |



При расчете падения давления пара в паропроводах следует придерживаться следующих правил:

1. Всю магистраль [illegible] разбить на участки, где расход пара и диаметр не меняются, [illegible] по отдельным участкам.

2. При определении [illegible] $l$ [illegible] нужно надежно подобрать величину [illegible] $l_э$. Для этого надо очень [illegible] величины $\zeta$ по таблице.

Определение [illegible] трубопровода сетей районного водяного отопления [illegible] по формуле

$$Q = \frac{\pi d^2}{4} C_в \gamma \ м^3/сек, \qquad (153)$$

где $\gamma$ — удельный вес воды. Для обычных температур в теплосетях (90—70) удельный вес воды следует принять 958 $кг/м^3$

$d$ — диаметр водовода, $м$,

$C_в$ — скорость движения теплоносителя (воды) обычно 1—3 $м/сек$.

Потеря напора для трубы с круглым сечением

$$h = \lambda \frac{l}{D} \frac{C_в^2}{2g} \ м \text{ вод. ст.}, \qquad (154)$$

где $\lambda$ — коэффициент трения.

Для труб, бывших в употреблении

$$\lambda = 0{,}0149 + \frac{0{,}00176}{D}, \qquad (155)$$

$D$ — диаметр трубы, $м$,

$l$ — длина трубы, $м$,

$C_в$ — скорость воды, $м/сек$,

$g$ — ускорение силы тяжести, равное 9,81 $см/сек^2$

Кроме того, в случае наличия вентилей, колен и задвижек необходимо прибавить потерю напора от местных сопротивлений согласно выражению

$$h_{м.с} = \beta \frac{C_в^2}{2g}, \qquad (156)$$

где коэффициент сопротивления $\beta$ для водоводов может быть принят из табл. 27

Таблица 27

Значение коэффициента $\beta$

| Местное сопротивление | $\beta$ | Местное сопротивление | $\beta$ |
|---|---|---|---|
| Вход в трубу без округления кромки | 0,5 | Колено ($r=2d$ -10 $d$) | 0,25 |
| Выход из трубы в бак | 1,0 | Отвод | 0,1 |
| Резкий поворот | 1,25—1,0 | Задвижка | 2,0 |
| Колено ($r=d$) | 0,5 | Вентиль | 5,7 |

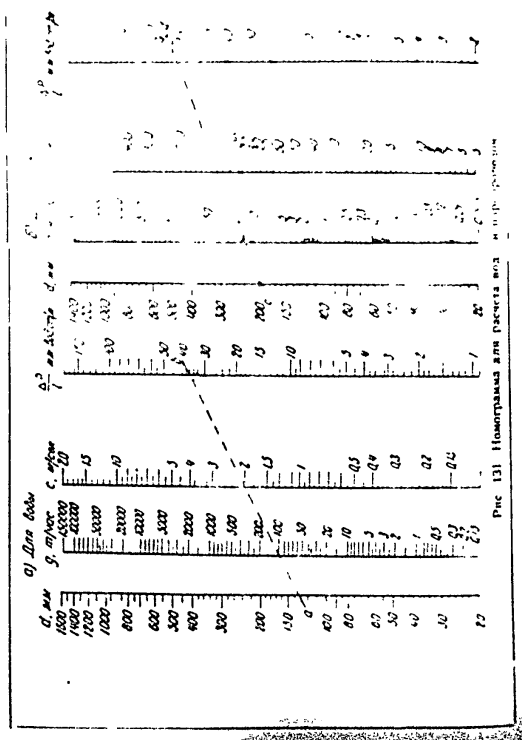



Рис. 131. Номограмма для расчета вод и пар. трубопроводов



Приближенные расчеты можно производить пользуясь номограммой (рис. 131), построенной для воды и пара.

Номограмма имеет четыре шкалы: $d$ — диаметр трубы в мм, расход воды или пара в $t$/час, $C_в$ — скорость движения воды или пара в м/сек, $\frac{\Delta p}{l}$ — падение давления на единицу длины трубы в мм вод. ст.

Для воды эта номограмма составлена при удельном весе воды 0,8 кг/м³ (температура 100°С) и коэффициенте шероховатости трубы 0,2 мм.

Для паропроводов принято $\gamma$ = 4 кг/м³ и $k$ = 0,2 мм. Для получения действительных расчетных величин необходимо величины скорости и падения давления полученные по номограмме пересчитать для соответствующей расчетной величины, в соответствии с начальным давлением и температурой. Пользование номограммой ясно из следующих примеров.

*Пример 1.* Определить диаметр водовода и падение напора при $c_в$ = 2 м/сек, $g$ = 100 т/час, $t$ = 100°С.

Проводя прямую $ab$, получим

$$d = 130 \text{ мм}, \quad h = \frac{\Delta p}{l} = 33 \text{ мм вод. ст.}$$

*Пример 2.* Определить скорость пара в паровой магистрали при $d$ = 200 мм, $g$ = 15 т/час, $\gamma$ = 4 кг/м³.

По аналогии с предыдущим, проводя прямую $cd$, по шкалам для $g$ и $d$ получим величину $C_п$ м/сек.

Для $\gamma$ = 1 кг/м³ $C_п$ = 140 м/сек, $h$ = 75 мм вод. ст.

При удельном весе пара $\gamma$ = 4 кг/м³

$$c_п = \frac{C_п}{\gamma} = \frac{140}{4} = 35 \text{ м/сек}, \quad h = \frac{h}{\gamma} = \frac{175}{4} = 18{,}7 \text{ мм вод. ст.}$$

При давлении пара свыше 10 *ата* приведенная номограмма не точна.

## 4. Термические расширения в теплопроводах и их компенсация

С увеличением температуры размеры трубопровода увеличиваются прямо пропорционально изменению температуры; при уменьшении температуры размеры соответственно уменьшаются.

Удлинение трубопровода можно определить по формуле:

$$\Delta = \alpha l (t_2 - t_1) \pm 1000 \text{ мм}. \qquad (157)$$

где $\Delta$ — удлинение, *мм*;

$t_2$ — расчетная температура,

$t_1$ — температура, при которой производился монтаж;

$\alpha$ — коэффициент линейного расширения, который можно принять: для чугуна — $10{,}5 \cdot 10^{-6}$, для стали углеродистой — $11{,}7 \cdot 10^{-6}$, хромоникелевой — $11{,}7 \cdot 10^{-6}$, никелевой — $13{,}1 \cdot 10^{-6}$, нержавеющей — $10{,}3 \cdot 10^{-6}$.

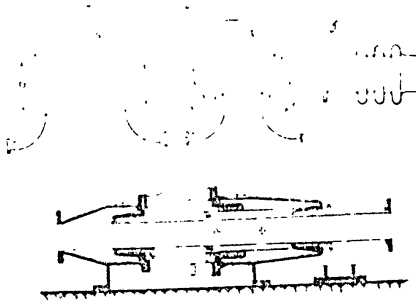


Рис. 132. Типы компенсаторов

ная сила, которая или сдвинет крепление, или изогнет трубопровод.

Для уничтожения продольных сил сжатия трубопроводы изготовляют такой формы, чтобы обеспечить свободное перемещение отдельных участков.

Существуют два способа компенсации термических удлинений.

а) естественная, когда трубопроводам придана конфигурация, позволяющая за счет изгиба отдельных элементов достигнуть полной эластичности трубопровода;

б) искусственная, осуществляемая путем введения специальных фасонных частей трубопровода, называемых компенсаторами, поглощающими термические расширения трубопровода.

На рис. 132 приведены примеры искусственной компенсации.

Мертвые точки теплопровода должны быть надежны и укреплены на прочном основании или специальном фундаменте.

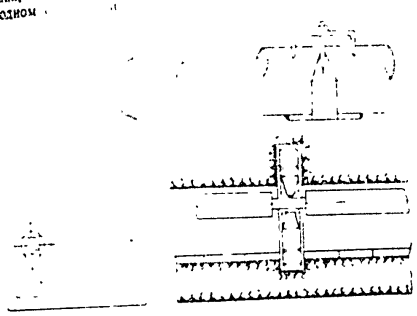


Рис. 133. Неподвижные опоры

Обычно теплопроводы расположены в одной горизонтальной плоскости, но часто при вводах в здание теплопроводы располагают в двух плоскостях, что усложняет расчет.

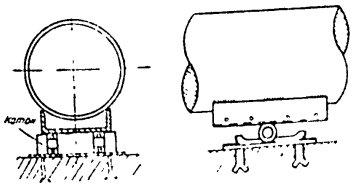



Рис. 134. Подвижные опоры.

Некоторые конструкции неподвижных опор указаны на рис. 133. Подвижные опоры (рис. 134) устанавливают с учетом свободного перемещения всех элементов трубопровода.

Расчет компенсации трубопроводов заключается в определении двух величин — силы реакции на неподвижные опоры и напряжения от изгиба и кручения в опасном сечении трубы.

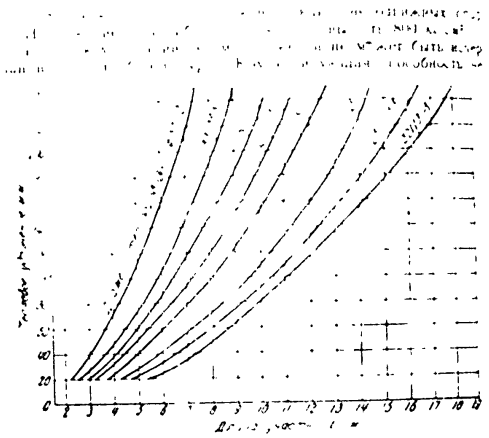


Рис 135. Номограмма для опре[illegible]ения удлинения теплопровода по схеме VIII

которых элементов трубопровода, служащих естественными компенсаторами, приведена в табл 28.

Удлинения приведены в долях наружного диаметра трубопровода

В таблице и на схемах приняты следующие обозначения

$\Delta$ — тепловое удлинение паропровода, *см*,

$D$ — наружный диаметр трубы, *см*,

$R$ — радиус закругления компенсирующего элемента трубопровода, *см*;

$F$ — сила реакции, *кг*;

$L$ — длина прямого участка, *см*

Все величины деформации приняты для следующих условий напряжение на изгиб в опасном сечении $l_{\text{изг}} = 800$ *кг/см*², модуль упругости $E = 2000000$ *кг/см*²

Наиболее часто встречается при проектировании и монтаже случай VIII с большой длиной участка $L$, иногда выражающейся десятками метров. Взаимосвязь между диаметром $D$, тепловым удлинением $\Delta$ и длиной участка для случая VIII приведены в номограмме (рис 135)



Таблица 28

Таблица тепловых удлинений

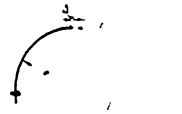
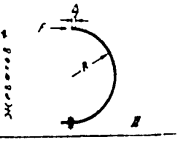
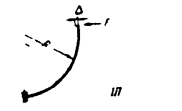
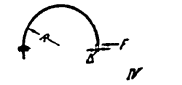
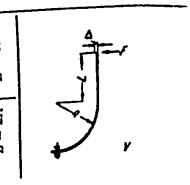
| [illegible] | [illegible] | [illegible] | [illegible] | Форма фасонной детали |
|---|---|---|---|---|
| [illegible] | [illegible] | 4 | 0,013D |  |
| [illegible] | 0,014D<br>0,021D | 4D | 0,020D |  II |
| 4D<br>5D<br>6D | 0,01D<br>0,01·D<br>0,023D | 4D | 0,028D |  III |
| 4D<br>5D<br>6D | 0,02D<br>0,032D<br>0,046D | 4D | 0,056D |  IV |
| 4D<br>5D<br>6D | 0,03D<br>0,047D<br>0,067D | 4D | 0,082D | L = R  |
| 4D<br>5D<br>6D | 0,59D<br>0,092D<br>0,12D | 4D | 0,145D | L = 2R V |

Табл. 28 (продолжение)

| [illegible] | | [illegible] | | [illegible] | | Форма фасонной детали |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | R | Δ | L | Δ | | |
| | 4D | 0,034D | | | L = R | |
| | 5D | 0,054D | 4D | 0,094D | | |
| | 6D | 0,082D | | | | |
| | 4D | 0,026D | | | L = 2R | |
| | 5D | 0,067D | 4D | 0,155D | | |
| | 6D | 0,11D | | | | |
| | 4D | 0,04D | | | | |
| | 5D | 0,047D | 4D | 0,084D | | |
| | 6D | 0,068D | | | | |
| | 4D | 0,014D | | | L = R | |
| | 5D | 0,028D | 4D | 0,0214D | | |
| | 6D | 0,0383D | | | | |
| | 4D | 0,040D | | | L = 2R | |
| | 5D | 0,0 2 D | 4D | 0,041D | | |
| | 6D | 0,090D | | | | |
| | 4D | 0,153D | 4D | 0,153D | L = 6R | |
| | 4D | 0,0352D | | | | |
| | 5D | 0,055D | 4D | 0,0935D | | |
| | 6D | 0,079D | | | | |
| | 4D | 0,0228D | | | L = R | |
| | 5D | 0,0358D | 4D | 0,0405D | | |
| | 6D | 0,0515D | | | | |
| | 4D | 0,0355D | | | L = 2R | |
| | 5D | 0,0555D | 4D | 0,0535D | | |
| | 6D | 0,080D | | | | |



Часто теплопроводы проектируют в виде двух участков значительной длины, встречающихся под прямым углом. При такой трассировке обеспечивается достаточная самокомпенсация и задача сводится лишь к выбору соответствующей подвижной опоры.

К недостаткам простых гнутых компенсаторов следует отнести большие размеры, что при подземной прокладке влечет за собой удорожание ниш и колодцев, а при надземных — специальных опорных конструкций. Кроме того, гнутые компенсаторы оказывают значительное сопротивление при проходе пара. Компенсаторы со складками по своей характеристике мало отличаются от гнутых, хотя прочность их выше. Волнистые и спиральные компенсаторы пока распространены мало.

Широко принятыми типами компенсаторов следует считать типы II и V для гладких, VIII и X — для компенсаторов со складками (см. табл. 28).

Для П образного компенсатора удлинение определяется по формуле

$$\Delta = \frac{2F}{EJ}(0{,}42R^3 + 12{,}28R^2a + 5{,}14Ra^2 + 0{,}66a^3 + R^2a + 4abR + a^2b)\ см \qquad (158)$$

Для лирообразного компенсатора — по формуле:

$$\Delta = \frac{2F}{EJ}[1{,}12R^3 + 15{,}84R^2a + 5{,}86Ra^2 + 0{,}64a^3 + b(2{,}53R + 0{,}966a)^2]\ см, \qquad (159)$$

где $F$ — сила упругости, *кг*;
$E$ — модуль упругости, равный 2 000 000 *кг/см²*;
$J$ — момент инерции сечения трубы;

$$J = 0{,}05\,(D^4 - d^4)\ см^4.$$

Величина $a$ и $b$ приняты по рис. 132.

Около фланцев компенсатора устанавливают подвижные опоры, а на расстоянии 10 $D$ от фланца — принудительные подвижные опоры, не допускающие перемещений, перпендикулярных к оси трубопровода.

Линзовые компенсаторы применяют только для теплопроводов горячей воды или для паропроводов при давлении до 5 *ата*, обычно для давлений 1—2 *ата*.

Компенсирующая способность одной волны колеблется в пределах 5—15 *мм*.

При большом числе волн крайние волны деформируются значительно больше средних, т. е. вся схема расчета изменяется и, кроме того, компенсатор становится чрезмерно гибким и может изгибаться, отклоняясь от оси трубы. Число волн принимают 4—6.

Таким образом для восприятия теплового удлинения в 100 *мм* следует установить три линзовых компенсатора из четырех волн каждый. При удлинениях порядка 400—500 *мм* установка линзовых компенсаторов в количестве 0,15 сомнительно неприемлема и необходимо выбирать другие типы.

На каждой волне линзового компенсатора при паропроводах необходимо устраивать дренаж для отвода скопившегося конденсата. При монтаже линзовых компенсаторов всегда применяется растяжка на 0,5 от величины воспринимаемого расширения.

Сальниковые компенсаторы имеют то преимущество, что они способны воспринимать значительное тепловое удлинение трубопровода при малом габарите всей конструкции. Недостатком их является необходимость частой смены уплотняющей набивки, что делает их особенно при паропроводах ненадежными.

Простой сальниковый компенсатор так называемый неразгруженный, в паропроводах не применяется, так как имели место вырывания труб из сальника. Для паропроводов применяют разгруженные компенсаторы, схема которых дана на рис. 132.

Такие компенсаторы воспринимают тепловые удлинения порядка 150—300 *мм*. Применение их для труб диаметром меньше 200 *мм* нецелесообразно. Если сальниковый компенсатор применен при надземной прокладке, к нему должен быть обеспечен свободный доступ. При пусках магистрали, когда возможна деформация с изгибом трубы, сальник иногда заедает.

## 5. Дренирование паропроводов

В паропроводе, чтобы избежать скоплений конденсата или занесенной из котла воды, должен быть осуществлен соответствующий уклон и дренаж. Вода в паропроводе может быть увлечена паром, движущимся со скоростью 80—100 *м/сек*. Увлеченная при таких скоростях вода обладает огромной разрушительной силой и, встречая арматуру — колено, тройник, задвижку, способна разрушить ее.

Такое явление называется **гидравлическим ударом**. Известно также какую опасность для паровых машин и турбин представляет вода, увлекаемая паром. В паровых машинах попадание воды в цилиндр приводит к изгибу крышки цилиндра, в паровой турбине — к разрушению лопаточного аппарата. Возникновение гидравлического удара чаще всего возможно при пуске паропровода, так как в холодных трубах конденсация пара идет весьма интенсивно. Надлежащий уклон позволяет конденсату стекать в определенные точки, из которых он удаляется с помощью конденсационных горшков, продувок и т. п.



Конструктивное оформление дренажных устройств указано далее в гл. VI.

Водоотделители, снабженные конденсационными горшками, следует ставить только перед паровыми турбинами или машинами, для прочей аппаратуры установка его нецелесообразна.

Для возврата конденсата в котельную прокладывают специальную магистраль, в которую включают все конденсационные горшки.

Конденсационные горшки должны устанавливаться в местах, обеспечивающих невозможность их замерзания. Если поблизости нет отепленных зданий, для установки горшков должны быть построены специальные утепленные кабины. Кроме того, должна быть предусмотрена возможность спуска всей воды из системы паропровода и его дренажных линий в зимнее время и случай его длительного выключения.

Паропровод может быть уложен как с уклоном по ходу пара, так и с уклоном в направлении, противоположном ходу пара. Уклон принят в 1/500—1/1000. Более крутой уклон может быть допущен, но с тщательным выполнением требований дренажа.

Возврат конденсата является важнейшим теплотехническим мероприятием. Магистраль обратного конденсата может быть уложена с соответствующим уклоном на общих с паропроводом сборных конструкциях. Уклон конденсатопровода может при шахтной и тоннельной прокладке потребовать увеличения высоты тоннеля или даже устройства отдельного тоннеля. Конденсат может быть возвращен двумя путями — самотеком или с помощью перекачивающего насоса.

При подаче под давлением конденсатосборник устанавливают у места получения пара (котельная, бойлерная). Диаметр конденсатосборной магистрали растет по мере подсоединения горшков. Магистраль изготовляют одинарной с установкой обратных клапанов после горшков.

Допускаемая расчетная скорость конденсата 0,5—1,0 *м/сек*.

Конденсатопроводы, особенно проходящие снаружи при подземных паропроводах, должны быть тщательно изолированы. Сборный бак выполняется закрытым, но с атмосферной трубой, чтобы не возникало в баке противодавления.

Температура конденсата не должна превышать 90—95°С во избежание вскипания при атмосферном давлении. При перекачивании конденсата насосом сборный бак может быть установлен в наиболее удобном для этого месте. Емкость сборного бака должна соответствовать количеству конденсата, накапливающегося за $^1/_2$—1 час.

При установке насоса нужно помнить о температуре воды в баке и устанавливать насос ниже бака. Так как насос рабо-

тает периодически, желательно автоматическое его включение и выключение в зависимости от уровня воды в сборном баке.

## 6. Проектирование и монтаж тепловых сетей

Прежде чем начинать проектирование тепловых сетей, следует получить все основные данные, необходимые для осуществления проекта. Важнейшими данными являются следующие: источник получения тепла, параметры теплоносителя, необходимые каждому из потребителей, тепловые графики нагрузки, план территории в горизонталях, схема существующей сети и т. д.

Полезно при проектировании наметить несколько вариантов схем тепловой сети.

Пользуясь данными о расходах тепла, производят основной расчет теплопровода — определение диаметров и потери тепла.

При определении диаметров следует пользоваться существующими ГОСТами и стремиться к максимальному однообразию сортамента материалов и оборудования. Должны быть выполнены расчеты компенсации, определен тип фланцев, конструкция стыка, метод прокладки и выбран тип изоляции.

Монтаж теплопроводов так же как и монтаж внутристанционных паропроводов, может быть начат только после проведения значительных по объему подготовительных работ.

За редким исключением, трубопроводы изготовляют на месте и лишь отдельные детали (фланцы, водоотводчики, сепараторы и т. п.) могут быть получены по заказу. Опорные конструкции, как правило, выполняют на месте.

Таким образом, организация монтажных работ требует оборудования мастерских, имеющих сварочную аппаратуру, стенд для гнутья труб, слесарную и токарную мастерские для производства разнообразных работ (проточка фланцев, нарезка болтов и т. д.).

Одной из ответственных категорий работ является **гнутье труб**. При гнутье труб необходимо применить определенные методы работы, так как в противном случае легко допустить смятие трубы в плоскости изгиба и вытягивание с боков.

Все толстостенные трубы большого и среднего диаметров, а газовые всех диаметров, за исключением особо крупных, перед началом гнутья нужно нагреть. В холодном состоянии можно производить только самые незначительные исправления. Отжиг и нагрев труб производятся на древесном или кузнечном угле, но не на коксе, так как содержащаяся в последнем сера, соединяясь с металлом, портит его. Реже нагрев производится электрическим путем или на нефтяном горне. Разметку мест изгиба производят мелом. Нагреть трубу на ограниченном участке довольно трудно, поэтому трубу нагревают на большом участке и излишне нагретую часть охлаждают мокрыми тряпками. Гнутье производят, зажимая трубу в тиски до образования складки на изгибе, что указывает на начало смятия, которого следует избегать. Затем быстро меняют место зажима, нагревая уже раскаленную часть, чтобы обжать образовавшиеся выпучины.



Такой метод гнутья возможен для труб, диаметр которых не превышает 75 *мм*. Трубы больших диаметров необходимо набивать песком.

Песок, который насыпают в трубы, должен быть предварительно просушен на противнях, устанавливаемых в горне.

При насыпании песка трубу прислоняют наклонно к зданию или к специально построенным лесам. Во время насыпания песка следует постукивать по трубе, чтобы уплотнить песок. Оба конца трубы, в которую насыпан песок, закупоривают перед гнутьем деревянными пробками. Плотно набитая труба не даст складок и не будет сплющена при гнутье. Дальнейшая работа при гнутье труб производится так, как было уже указано выше.

Большая точность гнутья может быть достигнута путем применения шаблонов, изготовляемых из угловой стали и закрепляемых на верстаке.

При трубах больших диаметров (200 *мм* и более) операции с трубой, набитой песком, крайне затруднительны, так как вес трубы может достигать таких величин, когда операции по гнутью труб без лебедок и талей становится невозможными.

В этих случаях переходят к **гнутью со складками** без набивки песком.

Гнутье со складками, помимо упрощения техники самого гнутья, дает очень большое увеличение гибкости данного отвода примерно в 2,5—3 раза, что отражено в таблицах, приведенных в настоящей главе).

При изготовлении компенсатора гнутье со складками дает весьма ощутительное уменьшение вылета компенсатора, что связано с уменьшением его веса и упрощением опорных конструкций. Процесс гнутья труб со складками производится следующим образом. С обеих сторон трубы вставляют (неплотно) деревянные пробки с таким расчетом, чтобы в трубе не создавалось движения воздуха.

Трубу зажимают в столбы для гнутья. На тыльной стороне трубы проводят мелом две черты параллельно оси трубы с расстоянием между ними $\pi D : 9$, где $D$ — наружный диаметр трубы (рис. 136). Перпендикулярно к оси трубы проводят две черты $a$ и $b$, ограничивая область будущих складок.

Расстояние между $a$ и $b$ для отвода в 90° равно $2\pi D$ при нормальном радиусе гнутья $4\ D$. Этот участок делят на 12 равных частей $A$, отмечая границы меловой чертой. После пред-

варительно согнутой из куска стали и приваривают собственно к листу.

Двумя или тремя автогенными горелками № 1 и 2 производят нагрев трубы вдоль первой поперечной черты а, не нагревая участка на тыльной стороне трубы между двумя продольными чертами, нагрев продолжается до светло-красного каления, после чего трубу изгибают оттягивая свободный конец лебедкой в направлении стрелки С на соответствующий угол проверяемый по шаблону, при этом на трубе образуется первая складка. Согнутую часть трубы (складку) поливают водой для охлаждения и затем нагревают следующий участок, ограниченный соседней поперечной чертой. Гнутье производят как описано ранее. Отвод должен соответствовать шаблону.

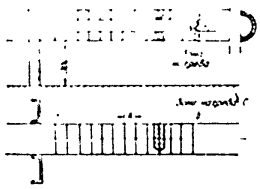


Рис. 136. Разметка труб при гнутье со складками

В процессе гнутья тыльную сторону трубы надо охлаждать мокрой тряпкой. Полосы нагрева должны быть строго перпендикулярны к оси, иначе отвод поведет в сторону. Недостаточный нагрев при гнутье ведет к образованию мелких складок.

При гнутье сварных труб шов должен быть расположен в тыльной части трубы. После гнутья рекомендуется трубу отжечь на горне, чтобы уничтожить внутренние напряжения в металле.

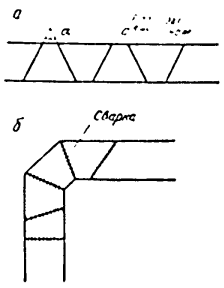



Рис. 137. Способ изготовления фасонных частей из прямых труб

Нормальным радиусом для гладкого гнутья следует считать 5—6 $D$, для гнутья со складками—3—4 $D$, где $D$—наружный диаметр трубы.

При радиусах меньше 3—4 $D$ можно изготовлять сварные фасонные части. Для этого трубу разрезают автогеном на отдельные клиновидные части по плоскостям не перпендикулярным к оси трубы, как показано на рис. 137, *а*.



Угол α принимают равным ~ 30°. Затем отдельные звенья укладывают как показано на рис. 137, *б*, сваривая, получают отводы любого фасона и радиуса.

Соединение теплопроводов обычно производят с помощью фланцев. Фланцы могут быть также изготовлены на месте автогенной резкой из листовой стали, толщиной 25—50 *мм*, с последующей проточкой на станке.

В настоящее время применяется преимущественно приваривание фланцев электросваркой.

При массовой заготовке труб рекомендуется один фланец на трубе не приваривать с тем, чтобы приварку его произвести после пригонки по месту.

При монтаже трубопроводов следует обращать особое внимание на качество прокладок между фланцами. Обычно для пара и горячей воды применяют прокладки из паронита или клингерита. Можно применять для той же цели асбестовые прокладки, пропитанные графитом. Асбестовые прокладки можно также применять для паропроводов высокого давления при фланцах с заточками.

Перекосы фланцев влекут за собой неравномерное зажатие прокладок и, следовательно, вероятность их прорыва. Канальную прокладку труб начинают с разбивки трассы на местности, по которой пройдет траншея. Рытье траншеи производят ковшовым экскаватором с подчисткой дна вручную. После подчистки дна канала бетонируют основание и устанавливают так называемые опорные камни, на которые будут уложены трубы. Опорные камни укладывают по теодолиту или визиркам, чтобы дать необходимый уклон.

При монтаже труб на мачтах начинают с организации работы по изготовлению разноске и установке мачт.

После установки мачт трубы развозят по трассе и стыковку их делают на земле. Если мачты установлены на открытой местности и трасса не имеет поворотов, а диаметр монтируемых труб не превышает 150—200 *мм*, длина свариваемого перед подъемом участка может быть равной до 100 *м*.

Подъем труб можно производить с помощью талей, подвешенных к вершине мачт.

Укладку труб в проходном канале производят на кронштейнах, которые устанавливают во время кладки стен канала.

Кронштейны нужно нивелировать при установке, в противном случае монтаж может быть выполнен неверно. Дно канала монтируют с уклоном к приямкам для осушения его. В местах установки арматуры устраивают смотровые люки.

[illegible] а наоборот фланцы начнут парить необходимо осторожно затянуть [illegible] на фланцах нормальным ключом без применения рычага. Если и после этого падение давления или течь не прекратится, то [illegible] фланцы обернуть чем нибудь и при крайней [illegible] разобрать, прочистить и собрать заново [illegible]. Пуск водяных сетей производится в следующем порядке: вначале необходимо всю систему заполнить водой. Для [illegible] открывают все воздушные краны в [illegible] и медленно из водопровода или другим путем заполняют [illegible] систему водой. Убедившись, что воздух вышел через краны выходит вода, закрывают их и при наполненном трубопроводе производят осмотр. Если в сети есть течь и она не прекращается, необходимо найти дефектное место, слить воду, произвести исправления, а затем снова наполнить систему водой. Так как наполненные водой трубопроводы значительно нагружаются, в после необходимо осмотреть все опорные конструкции и убедиться, что они прочны и не дают осадки. После этого можно включить сетевой насос.

## 7. Стоимость сооружения внутризаводских теплопроводов

О качестве технического проекта можно судить по экономическим результатам, полученным после его осуществления.

Рациональный технический проект теплопровода дает низкую стоимость передачи теплоносителя по теплопроводу и невысокие начальные затраты.

Приближенную стоимость водяной теплофикационной сети можно определить по формуле

$$c = a + bd^{\beta} \text{ руб/км},$$

где $\beta$ — коэффициент, зависящий от степени механизации работ и равный 0,8—1,2;

$a$ и $b$ — постоянные коэффициенты.

Для бесканальной прокладки $a = 50\,000$, $b = 300$.

Для подземной прокладки в непроходном канале, а также надземных проходках на мачтах $a = 50\,000$, $b = 400$.

Для прокладки в проходном канале $a = 80\,000$, $b = 600$.

$d$ — внутренний диаметр теплопровода, *мм*.

Годовой расход на 1 *мкал*

$$S = \frac{p}{Q}\,(aL + bM)\ \text{руб/мккал},$$

где $Q$ — годовой отпуск тепла, *мкал*;

$p$ — отчисления в размере 12% от стоимости теплопровода,

[illegible]

## 8. Эксплоатация тепловых сетей

[illegible]



[illegible] режим в отопительно-вентиляционных [illegible] расход воды не изменяется.

[illegible] никаких преимуществ в сравнении с [illegible] и недостатком его является [illegible] который приводит к гидравлической [illegible] отопительных систем.

В [illegible] районах, в частности на металлургическом заводе [illegible] большим весом тепловой нагрузки является вентиляция, указанный недостаток отпадает. В этих [illegible] можно с одинаковым успехом применять как качественную так и количественную систему регулирования.

Вместо [illegible] переменного расхода воды в сети расход электроэнергии на работу циркуляционных насосов при количественном регулировании меньше чем при качественном.

[illegible] заводских теплосетях применяют системы с централизованным регулированием, допускающие однако возможность дополнительной регулировки на месте потребления.

Характеристика качественного регулирования определяется постоянным расходом воды $W = const$.

Температура воды в прямой и обратной магистралях изменяется по следующему закону:

$$\frac{Q}{Q_1} = \frac{\tau_{ср} - t_в}{\tau_{ср1} - t_{в1}} = \frac{k(\tau_{ср} - t_в)}{k(\tau_{ср1} - t_{в1})},$$

где $Q$ и $Q_1$ — тепловая нагрузка при расчетном и измененном режимах, *ккал/час*,

$t_в$ — внутренняя температура помещений,

$t_н$ и $t_{н1}$ — наружная температура при расчетном и измененном режимах,

$\tau_1$, $\tau_{11}$ — температура воды в подающей магистрали при расчетном и измененном режимах,

$\tau_2$, $\tau_{21}$ — температура воды в обратной магистрали при расчетном и измененном режиме,

$\tau_{ср}$, $\tau_{ср1}$ — средняя температура отопительного прибора при расчетном и измененном режиме.

$k$ — коэфициент теплопередачи отопительных радиаторов

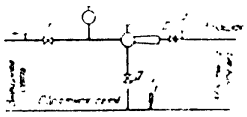
$k = (\tau_{ср} - t_в)^{0,25}$, где $n = 2,2$

Расчетная разность температур в отопительных сетях при наинизшей температуре наружного воздуха

$$\tau_1 - \tau_2 = 90^\circ - 70^\circ = 20^\circ$$

Для заводских сетей при отоплении и вентиляции промышленных зданий

$$\tau_1 - \tau_2 = 130^\circ - 70^\circ = 60^\circ.$$



[illegible] при значительно заниженн[illegible] качественного регулиро[illegible] расхода топлива [illegible] качественном регулировании [illegible] постоянным

[illegible] паропроводов осуществляется [illegible] клапана, доводящего путем [illegible]

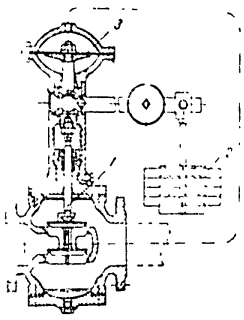


Рис 139 Редукционный клапан

[illegible] Шпиндель клапана 1 при[illegible] грузом 2 который [illegible] в зависимости от необходимого давления па[illegible] за клапаном В верхней части помещена мембрана 3, на которую действует давление в паропроводе Мембрана создает дополнительное давление на клапан Если к мембране подводится пар взятый до клапана, то дроссель будет изменять [illegible] клапана в зависимости от изменения давления перед клапаном Такой тип регулирования называется регулирование до себя Если пар к мембране подведен из точки, лежащей за клапаном (как показано на рис 139 пунктиром), [illegible] схема носит название регулирование после себя

У потребителя регулирование осуществляется часто просто [illegible] руки помощью простого вентиля.

Водяные тепловые сети представляют собой сложную гидравлическую систему в которой работа отдельных участков связана между собой Для возможности правильного регулирования работы сети необходимо знать не только ее схему, но и [illegible] давление в различных точках системы

Давление в различных участках сети, а следовательно, и расходы в сети подвержены значительным изменениям в зависимости от таких факторов, как присоединение новых абонен-

[illegible]

[illegible] любой точке [illegible] равен [illegible] установленному в [illegible] сети. Разность [illegible] и обратной магистрали в любой точке замкнутой тепловой сети равна располагаемому напору в этой точке.

Тангенс угла наклона пьезометрического графика сети к горизонту равен удельной потере напора в сети (на 1 пог. м на трение и местные сопротивления). Чем больше угол наклона пьезометрической линии к горизонту (круче график), тем больше удельная потеря напора в сети. Чем меньше угол наклона (положе график), тем меньше удельная потеря в сети.

На рис. 140 приведен примерный пьезометрический график двухтрубной тепловой сети:

$A_1C_1$ — пьезометрический график подающей магистрали $AC$;
$A_2C_2$ — пьезометрический график обратной магистрали $AC$;
$H_н$ — манометрический напор у нагнетательного патрубка циркуляционного насоса;
$H_в$ — манометрический напор у всасывающего патрубка насоса;
$H_c$ — напор, развиваемый циркуляционным насосом.

Давление в любой промежуточной точке сети, например в точке $B$, определяется следующим образом:

$H_1$ — манометрический напор в подающей магистрали;
$H_2$ — манометрический напор в обратной магистрали;
$H_B$ — располагаемый напор в точке $B$, $H_B = H_1 - H_2$;
$H_к$ — располагаемый напор у концевого абонента, в данном случае у абонента $A$.

Пьезометрический график для ответвления, например, изобразится линией $D_1E_1E_2D_2$.

При изменении гидравлического режима системы естественно изменяется и характер пьезометрического графика.

Для повышения гидравлической устойчивости системы в одной из точек устанавливают постоянное давление, которое поддерживается искусственным способом.

Эта точка называется **нейтральной**. Например, на обратной магистрали (рис. 140) устанавливается нейтральная точка $O$. $H_o$ — закрепленное давление в нейтральной точке.



При отключении ряда абонентов расход воды в сети уменьшится, отчего кривые пьезометрических давлений пойдут более круто (линии $KL$ и $K_1L_1$).

Так как насос создает постоянный напор $H_c$, то пьезометрическая кривая подающей линии $K_1L_1$ сдвинется вверх от своего начального положения $A_1C_1$.

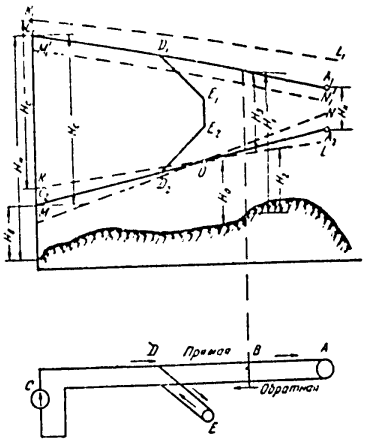



Рис. 140. Пьезометрический график

Из графика ясно, что пьезометрическая линия обратной магистрали будет всегда проходить через нейтральную точку.

После присоединения новых абонентов расход воды в сети увеличится, отчего пьезометрические линии давлений пойдут более круто (линии $MNM_1N_1$).

Новая пьезометрическая кривая $MN$ обратной линии опять-таки пройдет через нейтральную точку $O$. Пьезометрическая же кривая подающей магистрали сдвинется вниз, причем на станции останется постоянный напор $H_c$.

При полном прекращении циркуляции в сети пьезометрические кривые прямой и обратной магистралей совпадут с горизонтальной линией статического давления. Таким образом, при

любом гидравлическом режиме пьезометрическая кривая проходит через нейтральную точку. Схемы создания нейтральной точки даны на рис 141 Наиболее простая—это включение рас-

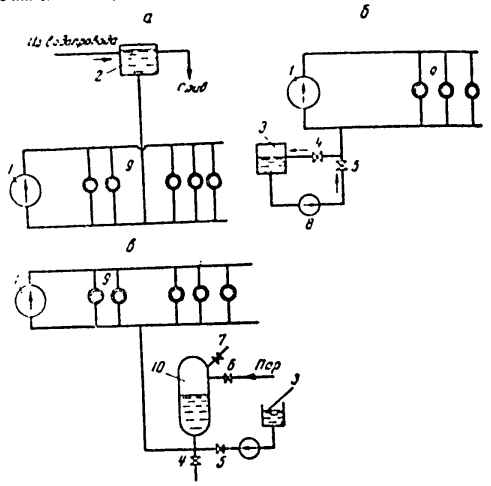



Рис. 141 Способы образования «нейтральной точки в тепловых сетях»:

1 — насос 2 — расширитель, 3 — бак подпиточной воды 4 — дренаж 5 — задвижка 6 — редуктор 7 — предохранительный клапан 8 — подпиточный насос 9 — потребители 10 — гидрофор.

ширителя (рис. 141,*а*), т. е. открытого сосуда, устанавливаемого на высоте, равной напору в нейтральной точке.

В настоящее время вследствие ряда отрицательных факторов (необходимость постройки башни, необеспеченность подпитки сети при авариях с разрывом трубы, открытое зеркало воды в расширителе, способствующее поглощению водой кислорода) расширители применяются только в весьма малых системах.

В современных сетях для установления нейтральной точки применяют **насосное подпиточное устройство**. Схема этого устройства приведена на рис. 141,*б*.



Подпитывание насосом регулируется так, чтобы давление в точке *0* было неизменным. Регулирование насоса осуществляется задвижкой *5*.

Слив воды из системы при расширении воды при нагревании защите сети от повышения давления производится через дренаж *4*.

Наконец, третьим способом поддержания давления в нейтральной точке служит **гидрофор** (рис. 141, *в*). Гидрофор представляет собой закрытый сосуд. На поверхность жидкости производится давление помощью пара или воздуха (паровая или воздушная подушка).

Это давление равно необходимому давлению в нейтральной точке.

Для компенсации утечек установлен подпиточный насос. Воздушная подушка требует установки компрессора, поэтому чаще всего применяют паровую подушку.

Центральное количественное регулирование сети может осуществляться изменением степени открытия задвижки на нагнетательном патрубке насоса или на всасывающем патрубке или изменением количества одновременно работающих насосов, или наконец, числом их оборотов.

Особенно широко распространено регулирование задвижкой на насосе. Уменьшение расхода при помощи задвижки вызывает уменьшение располагаемого напора и падение расхода воды в сети. По мере уменьшения расхода пьезометрические линии становятся пологими. Напор в любой точке изменяется пропорционально изменению напора на станции, а это вызывает пропорциональное изменение расхода у потребителей.

Давление между нейтральной точкой и станцией в обратной магистрали возрастает, а в концевой части сети падает, при этом повышаются давления у всасывающего и нагнетательного патрубков циркуляционного насоса. В подающей магистрали происходит падение давления.

Паровые сети обычно регулируются у абонента, поэтому в месте отпуска пара поддерживается только постоянное давление.

Весьма важно уменьшить потери давления, обычно имеющие место в паропроводной системе ТЭЦ и у потребителя. Снижение потерь сетей сразу снизит необходимое давление отбора в турбине и повысит экономичность ТЭЦ.

Снижение нагрузки паропровода не снижает теплопотерь, но значительно удельная величина теплопотерь возрастает. Возврат конденсата паровых сетей в настоящее время производится с помощью насоса, особенно в магистральных сетях, и внутри отдельных цехов допускаются самоточные конденсатопроводы.

## 9. Аварии, коррозия и засорение тепловых сетей

Тепловые сети состоят из весьма простых элементов, которые могут работать совершенно безаварийно. Аварии возникают, как правило, по вине эксплуатационного персонала, строителей или проектировщиков.

Статистика дает следующее распределение повреждений по элементам оборудования.

Для паровых сетей

| | |
|---|---|
| Разрыв труб | 65,0% |
| » задвижек | 17,6% |
| » компенсаторов | 5,7% |
| Прорыв набивки сальникового компенсатора | 5,8% |
| Остановка паропровода | 5,9% |
| | 100,0% |

Для водяных тепловых сетей

| | |
|---|---|
| Пробивание прокладок | 31,8% |
| Разрыв компенсаторов | 22,8% |
| » задвижек | 22,8% |
| » спускных кранов | 9,1% |
| » стыков | 9,1% |
| Срыв мертвой опоры | 4,5% |
| | 100,0% |

Течи фланцевых соединений обычно являются следствием перекоса фланцев, несовпадения осей, соединяемых трубопроводом или недостаточной затяжки болтов.

Иногда плохое качество прокладочного материала может вывести из строя значительное количество стыков. Установка толстых прокладок при неправильной пригонке их или, еще хуже, косых прокладках ведет, как правило, к пропариванию и течи.

До начала отопительного сезона в водяных сетях необходимо произвести подтяжку фланцев. Толщину прокладок свыше 2—3 мм допускать не следует.

Количество фланцевых соединений в сети необходимо сводить к минимуму, применяя соединение труб электросваркой и бесфланцевую арматуру, вваариваемую в трубопровод.

Течи и разрывы при сварных стыках почти всегда происходят вследствие плохого качества сварки или вследствие возникновения перенапряжений при плохой компенсации тепловых расширений.

Особенно много разрывов приходится на начало и конец отопительного сезона, когда при регулировании, особенно пропусками, часто изменяется режим сети. При бесканальных прокладках трубопроводов во избежание аварий, происходящих вследствие оседания грунта необходимо укладывать трубы без подкладок на нетронутое дно канала, а сварные стыки усиливать продольными наварными планками. Конструкции подвижных опор должны допускать свободную деформацию теплопровода.



Чтобы избежать повреждений компенсаторов, необходимо добиваться при проектировании такой конфигурации теплопровода, чтобы он обеспечивал естественную компенсацию. Причины повреждений компенсирующих участков и компенсаторов почти исключительно происходят от неверного расчета в проекте.

Повреждения из-за поломок чугунной арматуры происходят при передаче на нее осевых или изгибающих усилий. Особенно часто это можно встретить при бесканальной прокладке. Для разгрузки от возникающих при бесканальной прокладке усилий арматуру следует располагать на трубе со стороны подвижного стакана компенсатора (при сальниковом компенсаторе), а не со стороны мертвой опоры, как это делается при канальной прокладке. При неправильном пуске возможны разрушения арматуры вследствие водяных ударов.

Большой вред системам централизованного теплоснабжения приносит коррозия теплопроводов. Тысячи тонн труб выходят ежегодно из строя вследствие коррозии. Причиной внутренней коррозии (ржавления) является присутствие в воде растворенного кислорода, вступающего во взаимодействие с металлом.

Чем больше содержание кислорода и чем выше температура воды, тем интенсивнее коррозия. Подающие трубы разрушаются от коррозии всегда более, чем обратные. Интенсивная коррозия имеет место в сетях с большими утечками, где добавляется много недеаэрированной воды. От внутренней коррозии разрушаются не только основные сети, но и потребительские системы. Известны случаи выхода из строя системы трубопроводов абонентских отопительных систем за 2—3 года. Коррозионные отложения — ржавчина — уносятся циркулирующей водой, забивают трубы, арматуру и измерительные приборы (водомеры, измерительные шайбы). Таким образом, коррозия способствует не только потере металла, но и увеличению количества неполадок в системах теплоснабжения.

Кислород попадает в циркуляционную воду с добавочной водой, восполняющей утечки, а также вследствие засоса воздуха в местах образования отрицательного давления.

Для предотвращения попадания кислорода необходимо тщательно уплотнять все места возможного проникновения кислорода.

Качество подпиточной воды имеет очень большое значение с точки зрения долговечности сети. В лучших теплофикационных системах, где утечка составляет не более 1—2% от расхода циркулирующей воды за отопительный сезон, объем воды

полностью меняется 8—10 раз. Там же, где утечка, а следовательно и восполнение составляет 2—3%, происходит полный обмен воды каждые 5—6 суток.

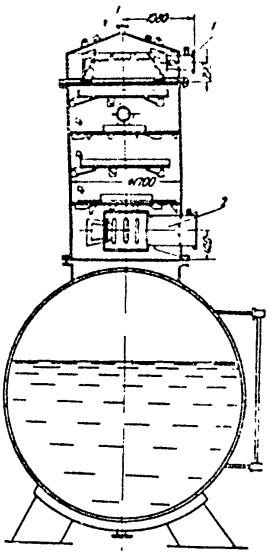


Рис. 142. Термический деаэратор атмосферного типа.

Мерой, улучшающей качество подпиточной воды, является ее деаэрация.

Деаэрацию воды производят нагреванием ее с доведением до кипения в обычных термических деаэраторах (рис. 142).

Вода через патрубок *1* попадает в деаэратор и, падая каскадами, нагревается, конденсируя пар, входящий в деаэратор через патрубок *2*. Выделяющийся кислород через патрубок *3* выходит наружу. Уровень воды в баке деаэратора поддерживается помощью регулятора уровня.

Простым и надежным способом деаэрации является сульфитирование воды.

Сульфитирование заключается в удалении растворенного в воде кислорода помощью сернокислого натрия (сульфита).

Для сульфитирования применяется специальное, весьма простое, оборудование, состоящее из баков и дозировочных шайб.

Для предохранения системы от проникновения в нее кислорода иногда применяют так называемые **закрытые системы**. Все верхние точки системы должны быть при избыточном давлении, а в наивысших точках должны быть установлены воздушные краны и вантузы (автоматические воздухоотводчики).

Для удаления коррозионных отложений систему иногда промывают 3%-ным раствором соляной кислоты, с последующей промывкой водой.



Наружная коррозия наблюдается почти исключительно при бесканальной прокладке, когда трубопровод непосредственно соприкасается с грунтом. Особенно интенсивной бывает коррозия труб в местах прохождения теплопровода через старые мусорные свалки, отвалы шлака или в зонах, где имеют место **блуждающие токи**, например вблизи трамвайных линий.

Стойкость труб против коррозии повышается, если они изготовлены из металла с присадкой хрома и молибдена или никеля и меди. Наружное антикоррозионное покрытие, применяется обычно в виде составов, содержащих гудрон, графит, пек, к которым прибавляют наполнители — асбест, глину, гашеную известь. Можно трубы окрашивать нефтяным пеком, затем оклеивать лентами из мешковины, покрытыми песком.

От электролитической коррозии пока еще нет радикального способа предохранения, однако металлизация трубы, т. е. покрытие ее поверхности антикоррозионным металлом, предохраняет от разрушения.

Средством для защиты труб от блуждающих токов трамвая служит сварка рельсовых стыков и хорошее соединение стыков с **отсасывающим** проводом, по которому электрический ток течет обратно на питающую подстанцию. При пересечении с путями трамвая трубы необходимо укладывать в канале, чтобы создать между рельсами и трубой воздушную прослойку.

Засорение теплопроводов берет свое начало еще при монтаже, когда в трубах остаются камни, песок, мусор, сгустки цемента, инструменты и т. п. Известны случаи, когда скопления грязи полностью закрывали сечение труб, прекращая циркуляцию. Перед окончанием монтажа трубопроводов необходимо проверять отдельные участки, протаскивая через них скребки, щетки и т. п. Щетки берут диаметром равным внутреннему диаметру трубы. Кроме того, трубопровод перед включением следует промыть.

*ГЛАВА VIII*

# ТЕПЛОВАЯ ИЗОЛЯЦИЯ

## 1. Цели тепловой изоляции; изоляционные материалы и изделия

Тепловая изоляция преследует следующие цели:

[illegible] (в котлах, аккумуляторах и т. д.);

[illegible] от падения температуры и охлаждения [illegible] (в трубопроводах),

[illegible] ограждение от нагрева окружающей среды.

[illegible] изоляция позволяет сэкономить значительные ко[illegible] которые при неизолированных поверхностях бы[illegible] в окружающую среду.

[illegible] сравнительно дешева и составляет обычно от 10 [illegible] стоимости установки, поэтому ее устройство очень вы[illegible]

[illegible] которые предъявляются к рационально устроен[illegible] изоляции сводятся к следующему.

[illegible] должна обладать низким и постоянным коэффи[illegible] теплопроводности, небольшим объемным весом, высо[illegible] и эластичностью во избежание трещин при [illegible] и вибрациях паропровода.

2. [illegible] должна быть безвредной для металла; нечувст[illegible] к атмосферным влияниям и обладать минимальной [illegible]

Изоляционная масса не должна привлекать грызунов (мышей, крыс) и не способствовать распространению насекомых и бо[illegible]

4. Изоляция должна допускать простой монтаж и легкую [illegible]емость к фасонным участкам трубопроводов.

К материалам, удовлетворяющим этим требованиям, могут быть отнесены асбест, глина, гипс, диатомит, трепел, доломит, магнезит, пемза, слюда, пробка, торф и др.

Характеристика этих материалов и изделий из них приведена в табл. 29 и 30.



Таблица 29

**Характеристика природных изоляционных материалов**

| Наименование | Характеристика | Объемный вес $кг/м^3$ | Коэффициент теплопроводности $ккал/м\ час,\ ^\circ C$ | Область применения |
|---|---|---|---|---|
| Асбест | Огнестоек. Кислото- и щелочеупорен | 540 | 0,18 | Основа изоляционной массы |
| Глина | Пластична | 1350 | 0,7 | Примесь к асбесту |
| Гипс | Быстрота схватывания 4—30 мин. | 1000 | 0,8 | Отливка плит и скорлуп |
| Диатомит (трепел (кизельгур) инфузориальная) | Пористы, рыхлы, пластичны, нерастворимы в воде | 500 | 0,09 | Засыпная изоляция. Изготовление кирпичей |
| Доломит | Углекислая соль магния и кальция | 2800 | | Смесь с древесными опилками «фибролит» |
| Магнезит | Природный углекислый магний | 3400 | 0,5 | Составная часть изолирующего вещества «ньювель» |
| Пемза | Губчатая масса вулканического происхождения | 300 | 0,08 | Изоляционная масса в смеси с асбестовым волокном, цементом и жидким стеклом |
| Слюда | Тонкие пластинки с воздушными прослойками | 2150—3150 | 0,0011—0,0014 | Насыпная изоляция в смеси с асбестовым волокном |
| Пробка | Эластична. Химически стойка. Не гниет. Безопасна в пожарном отношении | 85 | 0,048 | Изготовление плит, скорлуп, крошки |
| Древесные опилки | Сгорают в массе асбестита, образуя поры в массе | 400—800 | 0,06 | Изготовление диатомитового кирпича. Изоляционная масса в смеси с асбеститом |
| Торф | Волокнистый или порошкообразный | 190 | 0,05 | Засыпная изоляция. Изготовление торфоплит (торфолеум) |

Таблица 30

**Характеристика искусственных изоляционных изделий и материалов**

| Наименование | Составные части | Объемный вес кг/м³ | Коэффициент теплопроводности ккал/м час °С | Область применения |
|---|---|---|---|---|
| Асбеститы | Асбест VI—70%, Глина —30% | 400—1000 | 0,28—0,35 | Изоляция паро- и трубопроводов |
| Асбозурит | Асбест —30%, Диатомит —70% | 500—600 | 0,25—0,13 | Изоляция паро- и трубопроводов |
| Асботермит | Смесь отходов асбестита и диатомита | 300—400 | 0,13—0,19 | Изоляция самых разнообразных поверхностей, в том числе паро- и трубопроводов |
| Асбестовые изделия | Ткань, шнуры, матрацы | 900 | 0,15 | Изоляция корпусов турбин, гибких и подвижных частей паропроводов и т. п. |
| Асбошифер | Портландцемент —70%, Асбест —30% | 1800 | 0,3 | Плиты для обшивки стен сушилок и печей |
| Совелит | Белый магнезит —85%, Асбест —15% | 2550 | 0,09—0,11 | Изоляционные плиты |
| Диатомитовые плиты | Диатомит, Асбест | [illegible] | 0,15—0,22 | Изоляция топок паровых котлов и печей |
| Гасбетон | Известково-цементный раствор с алюминиевым порошком | [illegible] | 0,16—0,27 | Изоляция теплофикационных сетей, изоляция стен, крыш зала плит. |



Табл. 30 (продолжение)

| Наименование | Составные части | Объемный вес кг/м³ | Коэффициент теплопроводности ккал/м час °С | Область применения |
|---|---|---|---|---|
| Пенобетон | Известково-цементный раствор с пенообразующим веществом клея столярного — 143 г, Канифоли — 49 г, Кальцинированной соды — 1,5 см³ в растворе | 300—600 | 0,1—0,25 | Изоляция теплофикационных сетей, изоляция стен, крыш |
| Саломит | Сухая солома, прошитая проволокой | 180—220 | 0,039 | Изоляция стен и потолков под штукатурку |
| Камышит | Камыш, прошитый проволокой | 200—300 | 0,056 | Изоляция стен и потолков под штукатурку |
| Фибролит | Отбросы бумажных фабрик и хлопкозаводов (кора отлубина и спилки) | 225—300 | 0,07 | В виде плит и листов для изоляции стен и потолков |
| Шевелин | Пакля или кудель с прокладкой бумаги | 145 | 0,038—0,052 | В виде полотнищ для изоляции жилых помещений |
| Стеклянный гелий | Стекло и глинистый известняк | — | 0,03—0,09 | Насыпная изоляция теплопроводов |
| Стеклянная вата | Стекло и глинистый известняк | — | 0,044 | Насыпная изоляция теплопроводов |
| Шлаковая вата | Шлак в струе воды | — | 0,043—0,07 | Насыпная и набивная изоляция теплопроводов |

огнеупорной глины, затворенных водой до густоты, допускающей наброску массы на стенку. Нанесение раствора производится на нагретую поверхность. Толщина слоя постепенно доводится до 80—90 *мм*. Температура наружной поверхности стен со 180° при этом снижается до 80° и соответственно со 100° до 40°С.

Своды печей изолируют засыпкой их различными веществами: диатомитовым порошком, котельным шлаком, шлаковой ватой и, наконец, зонолитом.

Изоляционную массу засыпают только после основательной наружной промазки (поливки) кладки свода, чтобы устранить присосы воздуха.

Снижение расхода тепла через свод при этой изоляции согласно опытам составляет 14—35%.

Так, например, при толщине слоя шлаковой ваты 60 *мм*, толщине стенки 230 *мм* и температуре в печи 1150°, потеря тепла с 1 *м*² поверхности без изоляции составляла 4000 *ккал/час*, а с изоляцией — 2820 *ккал/час*, что составляет экономию в 29,5%.

Насосы горячей воды изолируют асбестовыми тюфяками, укладываемыми под металлическую обшивку. Таким же способом производят изоляцию корпусов паровых турбин и цилиндров паровых машин.

Изоляцию дымососов, вентиляторов горячего воздуха и газовоздухопроводов производят обычно штукатуркой смесью асбестита или асбозурита с глиной по сетке или по штырям. Слой изоляции накладывают толщиной не более 50—60 *мм* с таким расчетом, чтобы наружная температура изоляции не превосходила 40—50°С. В теплосиловых установках, на электростанциях изоляция способствует поддержанию в рабочих помещениях невысоких температур, при которых работа агрегатов протекает нормально. Особенно это касается работы электромоторов у дымососов, условия эксплоатации которых при массе выделяющегося тепла от неизолированных поверхностей чрезвычайно тяжелы. Это вынуждает самым тщательным образом изолировать все нагретые поверхности агрегатов котельной и машинного вала, имеющих температуру свыше 40°С.

### 3. Монтаж тепловой изоляции

Качество монтажа изоляции в значительной степени определяет ее эффективность. Способ наложения слоя, количество воды при затворении материала, скорость высыхания, окраска — все это влияет на качество изоляции.

При изоляции пластической массы—асбеститом подлежащую изоляции поверхность очищают от грязи, масла и т. п., которые препятствуют непосредственному соприкосновению изоляционной массы с изолируемой поверхностью.



Схватывание изоляционной массы с металлом происходит быстрее и лучше, когда поверхность чиста и нагрета. Это вызывает необходимость предварительного подогрева изолируемых частей установки. Если установку включают в эксплоатацию впервые, то, например, для паропроводов необходимо иметь вспомогательный котел для прогрева. В других случаях приходится вести изоляцию теплопроводов при работе установок, что чрезвычайно усложняет монтаж.

Первый слой изоляции в виде совсем жидкой массы наносят кистью. Далее изоляционный материал наносят слоями по 10—15 *мм*. Количество воды колеблется в пределах от 0,75 до 60 *кг* воды на 1 *кг* массы. Для асбестита уральских заводов требуется около 3 *кг* воды на 1 *кг* массы.

Каждый последующий слой наносят после высыхания предыдущего слоя. Если наброску следующего слоя производить до высыхания предыдущего, возможно появление трещин. В зависимости от толщины изоляции накладывают 5—6 слоев.

При нанесении слоев «наброской» между отдельными слоями образуются воздушные промежутки, которые последующими слоями закупориваются. Создается искусственная пористость, сильно снижающая коэфициент теплопроводности.

Таким образом, стремиться к получению ровных поверхностей отдельных слоев нерационально.

Некоторые конструкции изоляции предполагают намотку соломенного жгута по первому слою. Этот жгут покрывают слоем изоляционного материала. Соломенный жгут изоляции паропровода при перегретом паре сгорает и остаются воздушные полости, значительно снижающие коэфициент теплопроводности.

Изоляционные работы все еще в значительном объеме производят вручную, а потому качество изоляции зависит от умения и тщательности изолировщика. Однако в некоторых случаях может быть применена механизация помощью так называемой ц е м е н т-п у ш к и. Самый процесс набрасывания материала на поверхность помощью цемент-пушки называется торкретированием. Сущность работы цемент-пушки состоит в том, что изоляционную массу вводят в струю сжатого в компрессоре воздуха. Под напором сжатого воздуха сухой материал выбрасывается по специальному рукаву. У самого выходного сопла к сухому материалу прибавляется необходимая для схватывания вода. Смешанный с водой материал выбрасывается со скоростью 80 *м/сек* на изолируемую поверхность, на которую он попадает с большой силой. Вначале велик «отскок», но затем более крупные частицы внедряются в первый тестообразный слой и создается плотная, хорошо трамбованная масса. Этот способ может применяться только для покрытия больших поверхностей, для трубопроводов он неприменим.

...ме серьезное влия...
...клейку его мест...
...перерыва изоляции, на...
...тельно заделывать, в про...
...мкали или мешковины будет...
...ная изоляционная масса.
...ство работ по изоляции связано с возведением
...ного количества подмостей и загрязнением помещ...
Поэтому при монтаже установок следует заканчивать из...
...цию прежде вблизи машинных и котельных агрегатов, чтобы
до пуска убрать все подмости.

Перед изоляцией во время эксплоатации сводится обычно к
...ению со покрашиванию или к ремонту или проверке
...ию со лицей. В общем случае необходимо снять всю изоляцию
с выходящего участка и произвести заново изоляцию по
способу, указанному выше.

## 4. Тепловые потери, выбор толщины и испытание изоляции

Потеря тепла изолированным трубопроводом может быть определена по формуле:

$$q = \frac{\pi (t_1 - t_2)}{\frac{1}{2\lambda} \ln \frac{d_н}{d_в} + \frac{1}{\alpha_2 d_н}} \text{ ккал/час пог. м}, \qquad (160)$$

где $t_1$ — температура пара или воды в теплопроводе;
$t_2$ — температура воздуха, окружающего трубопровод;
$\lambda$ — коэфициент теплопроводности изоляционного слоя;
$d_в$ — внутренний диаметр трубопровода;
$d_н$ — наружный диаметр трубопровода;
$\alpha_2$ — коэфициент теплоотдачи от стенки к среде $кал/м^2 час^\circ C$.

Для плоской стенки потеря тепла определяется по формуле:

$$Q = \frac{t_1 - t_2}{\frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}}, \qquad (161)$$

где $t_1$ и $t_2$ — внутренняя и наружная температура,
$\delta$ — толщина стенки,
$\lambda$ — коэфициент теплопроводности изоляционного слоя,
$\alpha_2$ — коэфициент теплоотдачи от стенки к среде $кал/м^2 час^\circ C$.

Тепловые потери трубопроводов обычно определяются с помощью номограмм.

На рис. 143 приведена номограмма для определения потерь тепла изолированным трубопроводом.

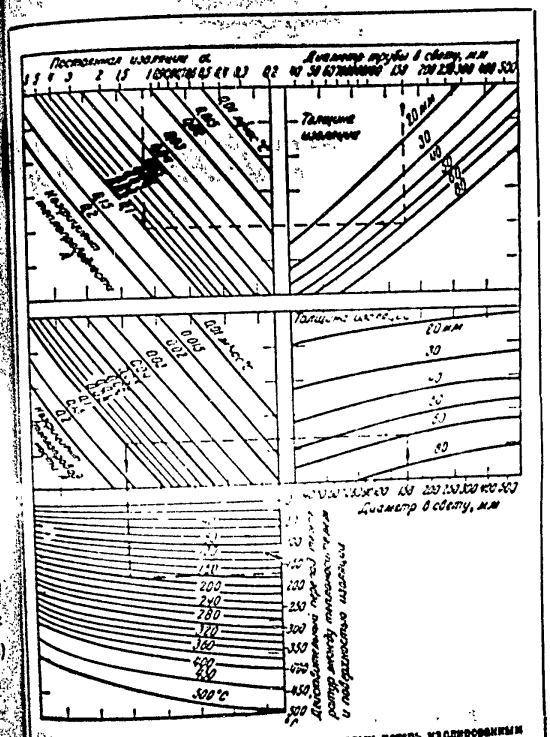



Рис. 143. Номограмма для определения тепловых потерь изолированным трубопроводом.

[illegible]а на 1 *пог. м* трубопровода в час может быть [illegible] формуле:

$$q = \alpha \Delta t \text{ ккал/м час}$$

[illegible] $t_1$ — разность температур между теплоносителем и поверхностью изоляции

[illegible]ий диаметр трубопровода [illegible] мм, толщина изоля[illegible] коэффициент теплопроводности [illegible] массы [illegible] температура теплоносителя $t_1 = 220°C$, температура [illegible] 20°C

[illegible]ри тепла трубопровода.

[illegible]ентам (рис. 123), проведя пунктир, указанный в конц[illegible]

$$\alpha = 1{,}12$$

[illegible] V квадрантах:

$$\Delta t = t_1 - t_{в3} = 167°C.$$

[illegible]ла на 1 *пог. м* трубопровода составит:

$$q = \alpha \Delta t = 1{,}12 \cdot 167 = 187 \text{ ккал/м час.}$$

[illegible]ходимо определить падение температуры на 1 *пог. м* [illegible], можно воспользоваться выражением:

$$\Delta t = \frac{q}{1000 c_p G} °C/м, \qquad (16)$$

[illegible] $\Delta t$ — потеря тепла на 1 *пог. м* трубопровода, полученная по рис. 143;

[illegible] — теплоемкость пара при постоянном давлении;

$G$ — расход пара, *т/час*.

[illegible]номограмме (рис. 144), определяем падение температуры [illegible] *м* трубопровода.

*Пример*

[illegible]емпература пара 220°C, давление пара 10 *ата*, расход пара 30 *т/час* [illegible] тепла на 1 *пог. м* из предыдущего примера $q = 187$ *ккал/м час*. Определить падение температуры на 1 *пог. м* трубопровода

$$\Delta t = 0{,}0115°C/м \text{ час.}$$

Выбор толщины слоя изоляции может быть решен расчетным путем на основании учета ряда факторов как физических, так и экономических. Для этого определяют стоимость теплопотерь в год и годовые отчисления от начальной стоимости при различных толщинах изоляции. Полученные данные наносят на график (рис. 145). Суммируя ординаты кривой годовых отчислений от начальной стоимости изоляции (кривая *1*) и кривой стоимости теплопотерь (кривая *2*), получим кривую суммарных расходов (кривая *3*). Точка перегиба кривой определит экономическую толщину изоляции. Размер годовых отчислений от стоимости изоляции принимают 12—15%, стоимость тепловой энергии—по отпускной цене на ТЭЦ. Ориентировочно толщина

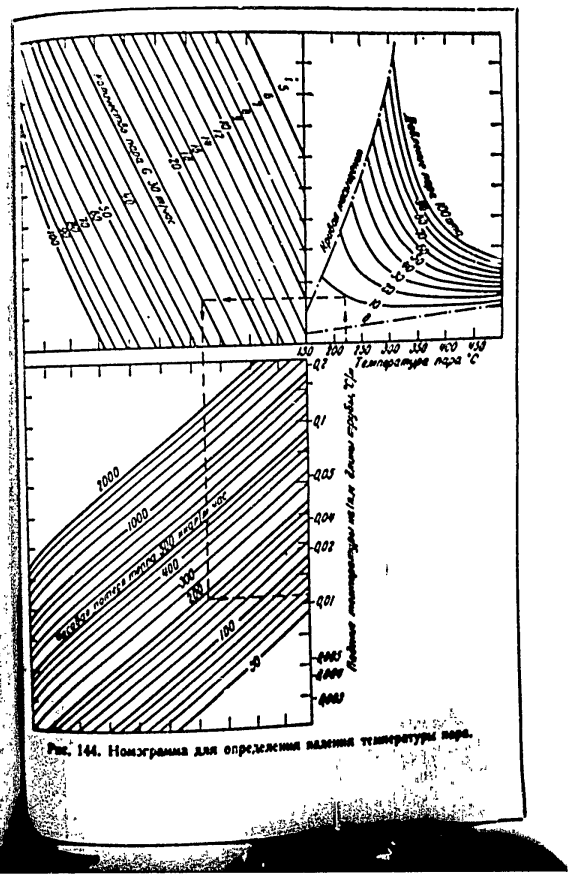



Рис. 144. Номограмма для определения падения температуры пара.

Атмосферный воздух определенной температуры может содержать лишь определенное максимальное количество паров.

Если температура поверхности трубы ниже критической температуры окружающего воздуха, то пары воздуха будут конденсироваться на поверхности трубы—образуется «роса», «потение» трубы, что наблюдается на трубопроводах холодной воды в отапливаемых помещениях, воздух которых насыщен парами, а также в практике работы холодильных установок.

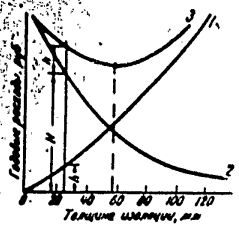



Рис. 145. Графический выбор толщины изоляции на погонный метр трубы.

Потения можно избежать соответствующей изоляцией холодных трубопроводов. Наименьшая толщина изоляции для того, чтобы избегнуть потения холодных труб, может быть принята по табл. 32, составленной на основании расчетных и практических данных.

Испытание изоляции производится по способу так называемой **вспомогательной стенки**.

Если к испытуемому слою изоляции плотно прижата вспомогательная стенка, коэфициент теплопроводности которой был ранее определен лабораторным путем, то очевидно, все тепло, прошедшее через основной слой изоляции, пройдет также и через вспомогательную стенку.

Так как теплопроводность и толщина вспомогательной стенки точно измерены, а температура ее поверхности как прилегающей к слою изоляции, так и обращенной наружу, точно измеряется, то количество тепла, проходящее через эту стенку, составит:

$$Q = \lambda \frac{t_{вн} - t_{нар}}{\delta}.$$

Вспомогательная стенка устроена в виде резинового пояса длиной 600, шириной 60 и толщиной 3 *мм*. Этот пояс надевают на испытуемую трубу.

Измерение падения температуры во вспомогательной стенке производится с помощью большого количества последовательно соединенных термоэлементов, расположенных попеременно на внутренней и наружной поверхности пояса и защищенных от механических повреждений тонким слоем резины.

Отсчет температур производится с помощью милливольтметра. Обычно

данных многочислен-

Таблица 31

диаметр трубы, *мм*

| | 125—200 | 225—300 | 325—400 |
|---|---|---|---|
| | 70 | 70 | 70 |
| | 80 | 80 | 80 |
| | 90 | 90 | 90 |
| | 100 | 100 | 100 |

Таблица 32

Толщина изоляции для предохранения труб от потения

| Коэфициент теплопроводности изоляции | Относительная влажность воздуха в % | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 90 | | | | 60 | | | | 40 | | | |
| | диаметр трубы в *мм* | | | | | | | | | | | |
| | 50 | 100 | 200 | 400 | 50 | 100 | 200 | 400 | 50 | 100 | 200 | 400 |
| 0,04 | 20 | 25 | 25 | 25 | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 0,06 | 30 | 35 | 35 | 40 | — | | — | — | — | — | — | — |
| 0,04 | 40 | 45 | 50 | 55 | 20 | 20 | 20 | 20 | — | — | — | — |
| 0,06 | 55 | 55 | 50 | 40 | 25 | 25 | 25 | 25 | — | — | — | — |
| 0,04 | 75 | 85 | 100 | 110 | 35 | 40 | 45 | 45 | 30 | 30 | 35 | 35 |
| 0,06 | 100 | 115 | 135 | 150 | 45 | 56 | 60 | 65 | 35 | 40 | 45 | 50 |
| 0,04 | 90 | 105 | 120 | 135 | 45 | 55 | 60 | 65 | 35 | 40 | 40 | 45 |
| 0,06 | 120 | 140 | 165 | 185 | 65 | 75 | 85 | 95 | 45 | 50 | 55 | 60 |
| 0,04 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 0,06 | 20 | 25 | 25 | 25 | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 0,04 | 25 | 30 | 30 | 30 | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 0,06 | 35 | 40 | 45 | 50 | 20 | 20 | 20 | 20 | — | — | — | — |
| 0,04 | 55 | 65 | 75 | 80 | 25 | 30 | 35 | 35 | — | — | — | — |
| 0,06 | 80 | 95 | 100 | 110 | 35 | 40 | 45 | 45 | 20 | 20 | 20 | 20 |
| 0,04 | 80 | 90 | 105 | 120 | 35 | 40 | 45 | 50 | 25 | 30 | 30 | 35 |
| 0,06 | 110 | 130 | 150 | 175 | 55 | 60 | 70 | 75 | 35 | 40 | 45 | 50 |
| 0,04 | 100 | 115 | 135 | 160 | 50 | 55 | 65 | 75 | 30 | 35 | 35 | 40 |
| 0,06 | 140 | 160 | 190 | 220 | 75 | 80 | 90 | 100 | 40 | 45 | 50 | 55 |

*ГЛАВА IX*

# РАЦИОНАЛИЗАЦИЯ ТЕПЛОИСПОЛЬЗОВАНИЯ НА МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ЗАВОДАХ

## 1. Потери топлива при хранении и перевозке

Металлургическая промышленность является одним из крупнейших потребителей топлива в системе народного хозяйства.

Топливные склады металлургических заводов рассчитываются на сотни тысяч тонн топлива, поэтому упорядочение складирования и хранения топлива играет огромную роль в экономии его.

Практика показывает, что потери топлива при небрежном складировании, хранении и транспорте могут достигать 5—10%.

Потери топлива имеют место, начиная с погрузки его в вагоны железной дороги. При неисправных вагонах топливо в пути просыпается через щели в полу и стенках. Неплотно прикрытые двери и люки вагонов приводят к раструске топлива в течение всего периода перевозки.

Когда топливо прибыло на склад, возникают новые потери вследствие измельчения при разгрузке. Топливо иногда разгружают на неподготовленную площадку, втаптывают в землю.

В самом процессе хранения уголь и торф (особенно фрезерный) при неправильной укладке штабелей и отсутствии наблюдения за температурой в слое подвергается выветриванию и самовозгоранию, что приводит к сильному снижению теплотворной способности всей массы топлива.

При транспорте топлива в цехи завода или на ТЭЦ топливо теряется вследствие раструски на транспортерах, при неисправности вагонеток и узкоколейных путей.

Топливо при поступлении на склад часто не взвешивают, а остаток его не проверяют. В результате невозможно даже учесть, как велики потери топлива от неправильного хранения и небрежного обращения с ним.

Из складов, не имеющих ограждений, без всякого контроля иногда нагружают тендеры паровозов внутризаводских дорог, причем в топку паровоза попадают даже ценные сорта коксующихся углей.

Упорядочение складского хозяйства в большинстве случаев даже не требует крупных капитальных затрат и очень часто

...маннных орга-
...ятиями по топ
...мое топлива яв
...ладах склада
...ных или заго
...ных и перио
...ной топлива в

...необходимо приме-
...ленном хранении
...боковых и верхних
...ступа кислорода

...превышать следую-
...ина 15 м, высота 6 м
...ом между ними 4 м
...расстояние должно
...м в поперечном направ-

...происходит
...ными ко

...кокса от измельчения

...неизбежно,
...до минимума

...при неправиль-
...измельчения и
...очередь отра-
...ении трещин
...процент мелочи.
...шает в коксе

...оборот, обра
...ленной хоуп-
...ного количе-

...перед загруз-
...возникновению
...малопроч
...количества
...угар кок-
...ха в печь
...ение теп-



...ного режима печи и, повышая угар кокса, одновременно по-
...нижает теплотворную способность коксового газа.

Нормальная потеря кокса от измельчения должна составлять примерно 2%.

Образующуюся на металлургических и коксовых заводах коксовую мелочь сжигают обычно в топках паровых котлов и паровозов при ручном обслуживании. Ручные топки мало приспособлены для такого мелкого и плохо воспламеняющегося топлива, вследствие чего коксовая мелочь используется крайне нерационально и сжигается с низким к.п.д. Между тем имеются способы сжигания коксовой мелочи и во взвешенном состоянии и в пылевой топке.

Все это показывает, что настоятельным является разрешение вопроса механизации заброса в топку или размола коксовой мелочи и сжигание ее в пылевидном состоянии. Препятствием к размолу коксовой мелочи служит плохая ее размалываемость, вызывающая сильный износ размалывающих устройств.

### 3. Потери кокса в доменных печах

Доменные печи металлургических заводов являются самым крупным потребителем кокса. Из общего потребления кокса в стране 85% приходится на долю металлургических заводов. Расход кокса в доменных печах обычно составляет около 800—850 *кг* на тонну чугуна.

Основными причинами повышения удельных расходов и перехода кокса в доменных печах являются: [illegible] ход печей, неустойчивый тепловой режим, низкая температура дутья, а также грубые нарушения в шихтовке.

Температура дутья имеет весьма важное значение для экономии кокса, так как недостаток тепла, вносимого в печь с дутьем, должен компенсироваться добавочным расходом кокса. Нормальная температура дутья должна поддерживаться от [illegible] до 800°С. На заводах часто можно наблюдать [illegible] дутья в пределах 400—550°, причем колебания температуры дутья происходят в весьма короткие промежутки времени, [illegible] резкие колебания температуры расстраивают ход [illegible] печи и увеличивают расход кокса.

Неравномерная температура дутья иногда имеет место и объясняется запущенностью кауперов, своевременная [illegible] чистка которых не производится.

Большие утечки воздуха также являются [illegible] топлива.

### 4. Потери топлива в мартеновских печах

Мартеновские печи на металлургических [illegible] вторым по счету крупным потребителем [illegible]

На ряде заводов в [illegible] жная производительность печей далеко не используется [illegible] тепла на тонну выплавляемой стали все еще велик [illegible] вания работы мартеновских печей показывают, что [illegible] причинами неудовлетворительной работы их, низкого [illegible] метра пода печи и высокого расхода те[illegible] низационные неполадки в цехе, несоблю[illegible] печи неправильная шихтовка, низкий [illegible] горячие простои печей, неполная их

Особенно ва[illegible] эко-номию топлива [illegible] п-лива

Большие [illegible] летворитель[illegible] тери в этом слу[illegible]

Большое [illegible] вают горя-[illegible] просто[illegible]

[illegible] ия и уплотни-[illegible] и изоляции [illegible] в [illegible] жающую среду, [illegible] продолжитель[illegible] печи и, как след-

[illegible] ния регулиро-[illegible] По некоторым [illegible] высить произ-[illegible] нормы рас-

[illegible]

[illegible] 1.1) р-[illegible] в толках

Несмотря на столь разносторонние возможности, использование доменного газа все еще невысоко. Потери доменного газа, уходящего в атмосферу, могут составлять до 25% от количества выделяющегося при доменном процессе.

Основными причинами столь высоких потерь газа в первую очередь следует считать недостаточную производительность газоочистных устройств и отсутствие таких необходимых в газовом хозяйстве установок, как газосмесительные станции, бустерные установки (для повышения давления газа) и др.

Часто неподготовленность потребителя служит причиной [illegible] газа. Все эти мероприятия [illegible] весьма быстро.

В [illegible] примера можно привести некоторые заводы, где установка [illegible] бавочных блоков газоочистки стоимостью 1,5 млн. руб. дала возможность дополнительно использовать в котельной завода 700 млн. $м^3$ доменного газа в год и таким образом освободила завод от завоза 90 тыс. т антрацитового штыба.

Отдельные рационализаторские мероприятия по упорядочению потребления доменного газа иногда дают значительные результаты.

Например на одном из заводов Юга установка усовершенствованных горелок для сжигания доменного газа в котельной дала возможность сэкономить в год 40 тыс. т условного топлива. Затраты же составляли всего 50 тыс. рублей.

Источником больших потерь газа может оказаться запущенное [illegible] хозяйство (трещины, неплотности, обрушение на-[illegible] иногда на 20—25% выше нор-

[illegible] прихода, так и расхода [illegible] всякие предложения [illegible] объемного и других типов)

[illegible] собой еще более ценное топливо, [illegible] способность 3 800—4 000 [illegible]). [illegible] газа, хотя и ниже потерь доменного, [illegible] от 5—6%.

[illegible] льзования высококалорийного [illegible] газа — [illegible] ратурные печи, главным образом [illegible], где [illegible] мо отказаться от использования мазута и [illegible] генераторного газа, получаемого в газогенераторных установках из ценных газовых углей.

Несмотря на это, ценный коксовый газ часто [illegible] для обогрева коксовых печей, тогда как для этого [illegible] использован [illegible].

Равным образом недопустимо сжигание коксового газа в котельных установках металлургических заводов.

В том случае, когда использование доменного и коксового газа на заводе невозможно (отсутствие мартеновских и прокатных цехов), что почти не встречается на наших новых металлургических заводах, являющихся по существу комбинатами, следует ставить и решать проблему дальнего газоснабжения близлежащих заводов и городов и отнюдь не ограничиваться простым выбрасыванием в атмосферу тысяч кубических метров ценного газа.

## 6. Потери топлива при его сжигании в топках паровых котлов

Каждое промышленное предприятие, за весьма малым исключением, имеет котельную. Поэтому паровые котлы являются весьма крупным потребителем топлива. Огромное число котлов: некрупные котельные установки с ручными топками. Ручное обслуживание только при большом искусстве кочегара может быть организовано так, чтобы котел работал с высоким к.п.д. Подавляющее большинство мелких котлов имеет к.п.д. 65 [illegible] это значение понижается даже до [illegible]. Между тем эти же котлы при механизации загрузки топлива в топках и тщательном уходе могли бы дать к.п.д. 70—75%, что дало бы в год по Союзу экономию топлива около 1,5—2,0 млн. т.

Причинами низкого к.п.д. промышленных котельных установок являются изношенность оборудования (в старых установках) и неисправное его состояние, неправильное ведение процесса горения, несоответствие топочных устройств и сжигаемого топлива, отсутствие использования тепла отходящих газов при помощи экономайзеров и воздухоподогревателей, питание котлов неочищенной водой, отсутствие измерительных и контрольных приборов и низкая квалификация обслуживающего персонала.

Опыт показывает, что сжигание топлива в топках несоответствующих конструкций может повлечь ухудшение к.п.д. на 20%. Неправильные размеры топки увеличивают потери тепла в ней от неполноты сгорания топлива на 5—10%. Для повышения к.п.д. котельной установки необходимо прежде всего самым тщательным образом изучить потери парового котла, прежде чем намечать пути улучшения работы.

При нормальном и регулярном режиме котла имеют место следующие виды потерь:

1) с отходящими в трубу дымовыми газами $Q_2$ *ккал/кг*;

2) от химической неполноты сгорания топлива $Q_3$ *ккал/кг*;



3) от механической неполноты сгорания топлива (потеря от провала) $Q_4$ *ккал/кг*;

4) излучением в окружающую среду $Q_5$ *ккал/кг*.

Потери тепла с отходящими газами $Q_2$ тем больше, чем больше объем и температура отходящих газов. Температура отходящих газов может быть измерена непосредственно в дымоходе.

Потеря тепла с отходящими газами в процентах от теплотворной способности топлива может быть найдена по следующим формулам, которые в пределах практических требований дают достаточно точный результат:

для дров

$$q_2 = 0{,}60\,\frac{T_{уг} - t_в}{K}\ \%; \qquad (164)$$

для торфа

$$q_2 = 0{,}68\,\frac{T_{уг} - t_в}{K}\ \%; \qquad (165)$$

для угля

$$q_2 = 0{,}66\,\frac{T_{уг} - t_в}{K}\ \%; \qquad (166)$$

для нефти

$$q_2 = 0{,}56\,\frac{T_{уг} - t_в}{K}\ \%. \qquad (167)$$

Здесь $T_{уг}$ — температура газов, измеренная в газоходе перед заслонкой,

$t_в$ — температура воздуха, поступающего в топку,

$K$ — процентное содержание углекислоты ($CO_2$) в отходящих газах, которое никогда не может быть выше 20% и составляет обычно 8—16%.

Количество тепла, теряемое через дымовую трубу, сравнительно с другими потерями, очень велико и колеблется в пределах 15—20%, увеличиваясь до 35—40%. Если же установлен экономайзер, то потеря с отходящими газами не превышает 10—12%. Для уменьшения потерь с отходящими газами, помимо снижения их температуры, необходимо уменьшать их количество, для чего следует по возможности снизить коэфициент избытка воздуха в топке. Причинами чрезмерного избытка воздуха являются: прогары в слое топлива, слишком сильная тяга, частые открывания шуровочной дверцы, присос воздуха через кладку котла. Для устранения этих недостатков необходимо тщательное обслуживание ручной топки и по возможности механизация процесса заброски топлива. В настоящее время для небольших котельных установок имеется пневмозабрасыватель системы Уралэнергометаллургпром и ВНИИТ, успешно работающий на некоторых металлургических заводах.

Для [illegible] наблюдение за [illegible] шлаков и [illegible] шлаков и трещин [illegible] главой.

Температура отходящих газов в [illegible] степени зависит от загрязнения стенок котла накипью, копотью и сажей и вне. Поэтому всякая котельная установка должна быть снабжена водопроводительным устройством [illegible] по опытным данным при толщине слоя накипи в 1,5 мм потери тепла с отходящими газами увеличиваются на 1,5—2%, а при толщине в 5 мм потери достигают 10%. Загрязнение поверхности нагрева золой и шлаковыми наростами с газовой стороны вызывает увеличение потерь до 5—6%, поэтому необходима периодическая обдувка поверхности нагрева. Современные средние и крупные котельные установки всегда снабжены водяными и воздушными экономайзерами, благодаря которым температура отходящих газов может быть снижена до 150—200° С и соответственно потери с отходящими газами доведены до 7—8%.

Повышение температуры отходящих газов до 200—250° вызывает увеличение потерь с отходящими газами до 12—15%. Потеря тепла от химической неполноты сгорания возникает в тех случаях, когда в дымовых газах содержатся вещества, еще способные гореть и не сгоревшие в топке (окись углерода, метан).

Эти потери в процентах от общей теплотворной способности топлива колеблются в пределах от 0 до 5.

Значение $q_3$ в зависимости от типа топки и рода топлива приведено в табл. 33.

Таблица 33

**Величина потерь от химической неполноты горения**

| Род топки и ее обслуживание | $q_3$, % |
|---|---|
| Ручная топка для бурых углей | 2—4 |
| То же, для каменных углей | 3—5 |
| Шахтно-цепная для торфа | 4—5,5 |
| Цепная решетка для бурых углей | 1,0 |
| То же, для каменных углей | 1,5—2,0 |
| Пылевые топки для бурых углей | 1—1,5 |
| То же, для каменных углей | 0—0,5 |
| » для антрацита | 0—0,5 |
| Шахтно-мельничные топки | 1—1,5 |

На химическую неполноту сгорания, помимо конструкции топки, характера и качества топлива, в значительной степени влияет дозировка воздуха, зависящая от внимательного отношения персонала и наличия измерительных приборов.



Потери тепла от механической неполноты сгорания зависят от количества несгоревших частиц, провалившихся в зольник и пересыпанных в газоходы. Эти потери приведены в табл. 34.

Таблица 34

**Величина потерь от механической неполноты горения**

| Род топки и способ ее обслуживания | $q_4$, % |
|---|---|
| Ручная топка для бурых углей | 8—9 |
| То же, для каменных углей | 3—4 |
| Шахтно-цепная для торфа | 0,0—0,2 |
| Цепная решетка для бурых углей | 1,5—2,0 |
| То же для каменных углей | 2,5 |
| Пылевые топки для бурых углей | 0,5—1,0 |
| То же, для каменных углей | 3—4 |
| » для антрацита | 4—6 |
| Шахтно-мельничные топки | 1—1,5 |

Легкоплавкость золы топлива увеличивает эти потери, так как расплавленная масса шлаков обволакивает частицы углерода, защищая их от соприкосновения с воздухом и таким образом оставляя их несгоревшими.

Потеря тепла в окружающую среду зависит от температуры наружных поверхностей котла, условий вентиляции котельной, типа обмуровки, температуры воздуха котельной, теплопроводности и лучеиспускания материала котла и кладки, системы котла и его размеров и напряжения поверхности нагрева.

Определить размер этих потерь весьма затруднительно и обычно они получаются как разность от теплового баланса котельной установки.

Допустимые величины этих потерь в зависимости от паропроизводительности котла приведены ниже.

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Паропроизводительность котла $\tau$/час | 16 | 10—20 | 40—60 | 90 | 120 | 160 |
| Потери тепла $q_5$, % | 3,5 | 2,5 | 1,5 | 1,2 | 1,0 | 0,6 |

Снижение потерь $q_5$ зависит от качества кладки, изоляции всех металлических частей котла, соприкасающихся с воздухом котельной.

Особенно возрастает значение потерь на излучение при малых нагрузках котла. При стоянии котла в горячем резерве под давлением потери на излучение достигают 70%. Важнейшим средством для осуществления правильной эксплоатации котлов является установка измерительных и контрольных приборов. Совершенно необходимыми являются пирометры для измерения температуры отходящих газов, газоанализаторы для определения $CO_2$ и CO в отходящих газах, тягомеры и обязательно весы для учета топлива. Кроме того, для замера питательной воды и пара необходимы водомер и паромер. Умелое и сознательное

... мельниц за счет использования проме-
...
... мельницами для возможности работы
... нескольких котлов,
... вичной топки поддержание температуры
... ества поступающего в мельницу и шахты

... замена изношенных бил
...евых устройств
... в дутьевых и газопроводов с устранением лишних
...ров и тому подобных сопротивлений,
... бор мощности двигателей;
...ение естественной тяги дымовой трубы при
...ких нагрузках,
... между напорными коробами вентиляторов и
... коробами дымососов, чтобы при наличии на
...х двух вентиляторов и двух дымососов иметь
...ры малых нагрузках работать одним
...ционных насосов:
...ование количества воды, подаваемой на конден-
...ности от ее температуры в водоеме и наивы-
...бины вакуума.
... напора у насосов без его завышения с макси
...льзованием сифонного действия сливного трубо
...ренсатора;
... привод насосов с использованием отработанного
...ение или нагрев воды;
... снижение добавки воды на градирни и брызгала
...ечками.
...льных и сетевых насосов:
... питание котлов от общей питательной маги-

...ение конфигурации трубопроводов с устранением
...н, задвижек и вентилей.
...лическому и пневматическому золоудалению дол-
...ставлен график включения отдельных аппаратов
...бы сократить холостой расход воды и воздуха,
...ьно, и электроэнергии на подачу.
...енные мероприятия не исчерпывают всех возможно-
...ь намечают направление для рационализаторской

## 10 Основы автоматизации тепловых процессов

...новых задач по улучшению качества производ-
...цесса при современном уровне техники, когда

мостата *Т* основана на принципе расширения трубки, наполненной частично котловой водой и паром Трубка термостата установлена наклонно так, что нижний конец ее находится на высоте наинизшего уровня воды в котле, а верхний на высоте высшего уровня. Так как пар и вода имеют одну и ту же температуру (насыщения), то искусственно поддерживают разность температур между ними. Трубку, подводящую пар к термостату, тщательно изолируют, а трубку, подводящую воду, оставляют неизолированной. Вода в неизолированной трубке остывает и ее температура лишь немного выше температуры воздуха в помещении.

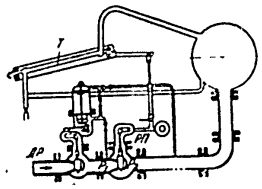



Рис 148. Схема регулятора питания «Колесо».

Если уровень воды в котле понизится, то большая часть термостатной трубки окажется занятой паром и трубка расширится. Передающие рычаги при этом откроют регулятор питания *РП*.

Так как при изменении положения клапана регулятора питания количество воды, проходящей через него, будет зависеть от разности давлений перед клапаном и за ним, устанавливается особый диференциальный регулятор давления, который поддерживает эту разность приблизительно постоянной (обычно от 2,5 до 5 *ат*).

Регулирование расхода дутья и тяги осложняется тем, что емкость в этих объектах на стороне потребления весьма мала и изменение регулируемого показателя непосредственно следует за изменением нагрузки. В этих условиях целесообразно применение астатических, а для точного регулирования изодромных регуляторов.

Регулирование температуры облегчается тем, что на стороне потребления имеется большая емкость, а на стороне подачи малая. Переходные запаздывания ничтожны. В этих условиях наибольшие результаты дает пропорциональный регулятор. Комбинированная схема авторегулирования процесса горения парового котла дана на рис. 149.

При автоматическом регулировании процесса горения пылеугольной топки необходимо учесть почти мгновенные изменения подачи топлива и воздуха, которую должен осуществить регулятор, причем эти изменения должны следовать одно за другим



Схема состит из главного регулятора *2* с сервомотором *4* для перестановки реостата регулировочной динамо *5*. Главный регулятор получает импульс от давления в главном паропроводе *1* и обратное действие в зависимости от вентилятора *9*, давление воздуха которого изменяется в зависимости от изменения напряжения на клеммах динамо *5*.

Газовая заслонка котла приводится в действие регулятором *12*, положение механизма которого зависит от количества поступающего топлива (скорость питателя) и количества пара, проходящего через котел. Регулятор давления *17* регулирует подачу воздуха к горелкам в зависимости от давления в топочном пространстве.

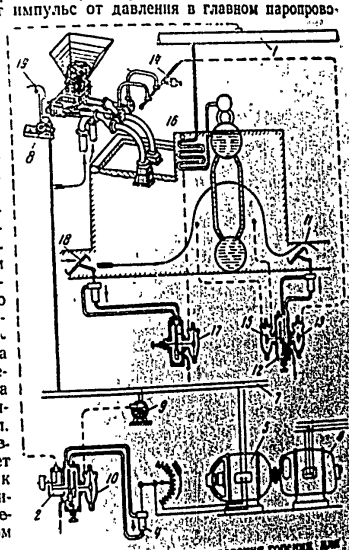



Рис. 149. Схема авторегулирования горения для пылеугольного котла.

Изменение напряжения в динамо *5* влияет на изменение числа оборотов электродвигателей питателей топлива *8*.

Этот процесс регулирования происходит сравнительно медленно, в то время как регулирование газовой заслонкой *11* помощью регулятора *12* происходит быстро.

Вал питателя каждой горелки соединен с отдельным вентилятором, число оборотов которого возрастает одновременно с числом оборотов общего вала. На регулирующее устройство *13* регулятора *12* должна действовать сила, пропорциональная квадрату подачи топлива. Для этой цели воздух, подаваемый вентилятором к горелкам, количество которого пропорциональ-

...теря, можно судить
...кает в атмосферу
...пара равно 10 *ата*
...потерю пара около
...выражению

...ара от паровых машин на тех-
...масла не требуется, причем
...лителей нежелательна ввиду

...ание котлов механическая
...достаточна, так как пита-
...на содержать масла более

...ено немед-
...рых случаях
...ть сальник
...при нагреве
...ции тем-
...сти во
...рекон-

...ата от масла произ-
...ыси алюминия перед
...ванием), или пропуском
...кварцевый, а затем
...применяют песок
...8 до 20 *мм*). Для
...ный активирован
...обработке угля
...уголь После

...ит к
...

...170 Ка...
...прогну-
...ован
...и
...пер-

...водится
...специально
...промасленн
...через уголь
...кальку ра
...тольного фи
...ный уголь, по
...гаром при 850
...2000 час. работ
...Механически
...ный отдельный эл
...ного, цельного мета
...ного, также изогнуто
...сваривают по нижней
...борированном листе, пар
...льного листа, при этом во
...ыстях и стекают вниз на

...отделитель должен доводи
...было указано, до 2—
...лоотделителе допуск
...ные конструкции масл
...весьма близок к описан
...на металлургическ
...ты и заменены турбинами
...вые машины установлен
...прокатных станах паровые ма
...ки, поэтому вопрос об
...машин такого типа не имеет
...то же смеси, полученной из
...смешивающем конденсато-
...ка 30—35° практиче-
...

...ятого пара от паровых
...ческое значение. Исполь-
...ов встречает ряд трудно-
...бразен и неравномерен,

## 12 Использование тепла горячей воды из теплообменников и конденсаторов

Металлургический завод сбрасывает огромные массы теплой [illegible] даже горячей воды после охлаждения кладки печей, горелок, всевозможных панелей, станов, подшипников и т. д.

Эта вода уносит миллионы калорий тепла. Если принять, что на [illegible] т выплавленного чугуна расход воды составит около 100—130 $м^3$, то на металлургическом заводе с тремя доменными печами производительностью по 1000 т чугуна в сутки в год с водой [illegible]ется до 75 000 т условного топлива. Между тем это тепло можно во многих случаях использовать, направив воду на отопление зданий, теплиц, для питания паровых котлов и на другие нужды. Следует заметить, что если температура воды, охлаждающей арматуру мартеновской печи имеет 40° и может быть поднята до 65° (предложение инж. Выставкина) и даже превращена в пар (предложение инж. Крушель и Андониева), то на других установках она имеет сравнительно невысокую температуру и использование тепла этой воды затруднительно. Это же касается конденсаторов всех типов как для паровых [illegible]нитателей так и для разного рода химических процессов (например на коксохимическом заводе), а также всякого рода холодильников.

Тепло отходящей (отбросной) горячей воды из холодильников может быть использовано:

1) [illegible] подогрева питательной воды в котельной,

2) [illegible] отопление, вентиляцию и бытовые нужды,

3) для обогрева теплиц и оранжерей.

Подогрев питательной воды котлов теплой отходящей водой является простым и экономичным способом использования отбросного тепла. Схема требует применения трубчатых теплообменников, устанавливаемых в котельной. Подогрев целесообразен в [illegible] котельных старого типа, где отсутствует схема регенеративного подогрева. В современных установках целесообразно [illegible] лишь химически очищенной воды перед ее поступлением в [illegible]ратор.

[illegible]вание тепла отходящей воды для отопления и [illegible] целесообразно, но возможно только в период [illegible]. Начальные затраты сравнительно велики, [illegible] коэфициенте использования установки срок окупаемости [illegible] увеличивается.

[illegible] отходящей воды непосредственно для [illegible] мойки, горячее водоснабжение поселков) [illegible]арным соображениям, ввиду возможной [illegible] поэтому во всех этих случаях применяют [illegible]менники

двига[illegible]

[illegible]схом обес[illegible]

[illegible]ство пара в [illegible]

использовать отходящие газ[illegible]

[illegible]щей во-

[illegible]ть получена

[illegible]ная утилиза-

[illegible]овка

[illegible]ме рис 152 вода из

[illegible]цилиндров двигателя

[illegible] температурой 60°С

[illegible]ется частично в подо-

[illegible]ель где догревается до

[illegible]0 за счет тепла отходя-

[illegible]х газов *1*

Остальная вода сливается в бак *2* откуда может быть направлена к потребителям воды низкой температуры (бани, душевые, прачечные) Температуру отходящих газов при этом можно понизить до 160—170°С

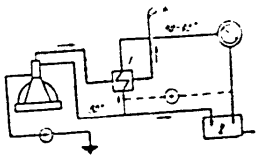
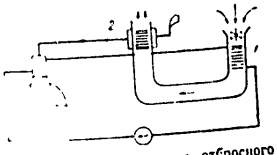


Рис 152 Использование отброс-ного тепла дизельных двигателей для приготовления горячей воды.

Дальнейшее снижение температуры может повести к конденсации паров, содержащихся в дымовых газах, а при газах, имеющих сернистый ангидрид, привести к разъеданию утилизационных устройств

Коэффициент полезного действия установок с двигателями [illegible] устройством утилизатора может быть повышен с 34 [illegible] за счет использования тепла охлаждающей воды и [illegible]но на 10% за счет частичного использования тепла [illegible]х газов и доведен таким образом до 85%.

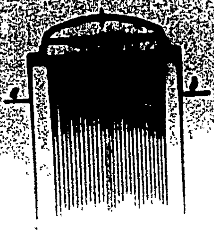
[illegible] схеме рис 153 приведено использование отходящего тепла двигателя дизеля для получения горячего воздуха на цели отопления или сушки. Подогрев воздуха происходит последовательно в двух подогревателях. Первая ступень подогрева воздуха осуществлена за счет тепла отходящей охлаждающей воды *1* и вторая *2* — за счет выхлопных газов. Воздух нагнетается вентилятором.



[illegible] 153 Использование отбросного [illegible] дизельных двигателей для [illegible] горячего воздуха.

Конечная температура воздуха зависит от его количества и от нагрузки двигателя. Чем выше нагрузка и чем [illegible] количество подаваемого воздуха, тем выше его температура. Имеются схемы, позволяющие за счет тепла охлаждаю-

щей воды и выхлопных газов, получить пар в количестве до 2% от количества охлаждающей воды, остальная масса воды должна быть пропущена в градирню. Использование выхлопных газов в газовой турбине, вращающей воздуходувку для наддува воздуха, всасываемого в цилиндры двигателя, позволяет для четырехтактных двигателей повысить мощность двигателя на 30%.



Подогревание воды помощью отход… ла двигателей … полнено в СС… ной из пр… рик, где … ит из … ных … по 250 … В … том… вом… пр… [redacted] после подо… —100°С. … из комму… …зельных электростанций … ние рубаш… подается о… конденсатор… турбин при температуре 27°С и догрева…

…рез
…аб

Это может быть выполнено путем использования отходящей охлаждающей воды и выхлопных газов.

В данном случае экономия достигается заменой высокосортного горючего низкосортным без добавочной затраты топлива на его разогрев.

Большинство котлов-утилизаторов для использования тепла отходящих газов двигателей дизеля построены по принципу газотрубных котлов, в которых газы идут по трубам, а нагреваемая вода находится между трубами. Это дает возможность легко очищать трубы и упрощает всю конструкцию. При конструировании утилизаторов для отходящих газов двигателей внутреннего сгорания основной трудностью [redacted] теплопередачи … скорости газа до … служит глушителем … котлов-утилизаторов пред… в Союзе Научно-исследовательским дизельным институтом (НИДИ).

На рис. 154 дана схема конструкции водогрейного котла, с поверхностью нагрева 27 м². Котел цилиндрический газотрубный. Выхлопные газы поступают в нижнюю камеру, разделенную перегородкой. Таким образом осуществ… для двух двигателей по 400 … 1912 … Котел имеет 188 …

…производительность котлов-утилизаторов … около 9000 ккал/м²час для четырехтактных и 5500 ккал/м²час для двухтактных. …поверхность нагрева для водогрейных котлов …тью 100—600 л. с. — 0,025—0,015 м²/л. с.

…премировании работников ТЭЦ, котельных …сетей за экономию топлива

…энергию на тепло-

…ально

Для создания особой заинтересованности каждого рабочего действующая система премирования построена по индивидуальному принципу.

Система премирования имеет целью заинтересовать персонал теплосиловых установок в улучшении технико-экономических показателей работы отдельных агрегатов.

Премирование устанавливается за улучшение основных показателей работы оборудования, однако при определении размера причитающейся к выплате премии учитывается результат работы и по другим показателям.

Для осуществления премирования агрегаты должны быть оснащены измерительными приборами по возможности суммирующего и регистрирующего типа и в первую очередь весами для взвешивания топлива.

Технические нормы, положенные в основу премиальной системы, устанавливаются по характеристикам оборудования. Характеристики оборудования должны учитывать все возможности улучшения работы персонала.

Технические нормы создаются с учетом мероприятий по эко- [illegible] топлива и электроэнергии и должны обеспечивать пере- [illegible] плановое задания. Технические нормы разрабаты- [illegible] заводе, ТЭЦ и в цехах и утверждаются вышестоя- [illegible] инией

[illegible] установления норм с оборудованием произойдет [illegible] реконструктивного характера, техниче- [illegible] соответственно изменены.

[illegible] разной мощности, а следова- [illegible] топлива и электро- [illegible] оборудо- [illegible] в зависимо- [illegible] турбогенераторам к первой [illegible] турбины мощностью свыше 30 *мват*, ко второй [illegible] от 20 до 30 *мват* и к третьей — турбины мощностью до 20 *мват*. Паровые котлы в зависимости от паропроизводительности разбиты также на три группы. Котельные агрегаты производительностью свыше 75 *т/час* относятся к первой группе, производительностью 50—75 *т/час* — ко второй группе и ниже 50 *т/час* — к третьей.

В круг премируемых лиц входят в котельном цехе: кочегары и их помощники, муровщики, обдувщики, водосмотры и мельники угленомольных устройств; в машинном цехе — машинисты и их помощники.

Для кочегаров установлены следующие показатели для премирования:

1) повышение к.п.д. обслуживаемого котла за смену, если имеется точный учет израсходованного топлива за смену и



рабочей теплотворной способности, топлива по каждому котлу (премиальная сумма устанавливается за каждый процент понижения расхода топлива);

2) поддержание постоянных параметров пара (давления и температуры);

3) снижение расхода электроэнергии на С.Н. (по дымососам, вентиляторам, мельницам и т. д.)

Если посменный учет к.п.д. отдельных котлов по состоянию контрольно-измерительного хозяйства невозможен, персонал премируется за отдельные показатели, обусловливающие получение высокого к.п.д., а именно

1) поддержание нормального содержания $CO_2$ в дымовых газах;

2) снижение температуры отходящих газов (за каждый [illegible] дус снижения);

3) минимальное содержание [illegible] каждый процент уменьшения);

4) поддержание нормальных [illegible]

5) снижение расходов электроэнергии на собственные нужды

Премия кочегару не выплачивается, если среднее отклонение от нормы в сторону ухудшения превышает следующие величины:

| | |
|---|---|
| По расходу топлива при премировании по к.п.д. | 1% |
| » содержанию $CO_2$ в дымовых газах | 0.5% |
| » температуре уходящих газов | 5° |
| » содержанию горючего в шлаке и уносе | 5% |
| » давлению пара у турбин | 0.5 *ат* |
| » температуре пара у турбин | [illegible] |
| » расходу электроэнергии на собственные нужды | [illegible] |

Если среднесменное отклонение показателя в [illegible] шения превышает указанный допуск, производится [illegible] премии за данную смену по другим показателям [illegible] за другие смены.

Результат работы каждого работника за [illegible] ся как сумма премий и вычетов по отдельным [illegible] доводится до сведения работника. Результат [illegible] определяется как сумма положительных и отрицательных [illegible] мий по сменам. Если кочегар обслуживает несколько [illegible] сумма премий и вычетов подсчитывается по каждому [illegible] отдельности.

Помощникам кочегара премии определяются по тем же [illegible] казателям, однако в размере 50% среднего премиального [illegible] работка кочегара. Построение шкалы премирования [illegible] из конкретных условий работы данной установки. Поэтому для каждой установки должны быть определены оптимальные показатели.

[illegible] оптимальное содержание CO находят для [illegible] по данным испытаний. При отсутствии таких [illegible] необходимо провести простейшие эксплоатационные [illegible]. Как правило, содержание CO должно учитываться регистрирующим газоанализатором, а при отсутствии такового временно можно допустить учет $CO_2$ по получасовым записям указывающих приборов.

Кочегар премируется только за время работы агрегата. За время растопки и горячего разогрева кочегар не премируется.

Отклонения, вызванные причинами, не зависящими от кочегара (влажное топливо и т. д.), должны учитываться при определении премии.

Нормальная температура уходящих газов устанавливается в зависимости от нагрузки котла. Нормы для температуры уходящих газов устанавливаются при выполнении следующих предварительных мероприятий:

1. Котел должен пройти нормальную плановую чистку.

2. Содержание $CO_2$ за котлом поддерживается нормальным, а за установкой не должно снижаться большим присосом воздуха в газоходах.

3. Режим топки должен вестись равномерно.

4. Шиберы в обходных газоходах экономайзера и воздухоподогревателя должны быть плотно закрыты.

Необходимо установить некоторые допустимые повышения температуры уходящих газов в период между плановыми чистками котлов. Это повышение температур устанавливается на основании эксплоатационных наблюдений при нормальном обслуживании котла. Содержание горючих в уносе пылеугольных котлов зависит от нагрузки котла и тонины помола. Влияние изменения нагрузки на содержание горючих в уносе при сжигании тощих углей и антрацита бывает очень значительно. Если тонина помола изменяется нерезко, норму на содержание горючих в уносе можно установить по данным испытания котла только в зависимости от нагрузки.

Отбор проб для определения содержания горючих в уносе следует производить из газохода за котлом на прямом участке, где нет сильных вихрей. Пробу можно отбирать также за дымососом в борове или у основания трубы. Премирование за уменьшение горючих в шлаке производится только для котлов, имеющих слоевые топки.

Учет выполнения норм по параметрам пара производится в машинном цехе или у потребителя пара путем замера давления и температуры пара у пускового вентиля. Замер показаний необходимо производить регистрирующими приборами. При отсутствии регистрирующих приборов временно разрешается вести замеры по [illegible] вываются каждые [illegible]

Нормы [illegible] жны [illegible] тиляторы питательные [illegible] от нагрузки. В случае отсутствия [illegible] шается временно установление нормы [illegible] по цеху в целом. При групповом или цеховом [illegible] собственные нужды временно можно установить [illegible] да электроэнергии путем эксплоатационных наблюдений [illegible] нормальном режиме работы обслуживаемых агрегатов.

Для машинистов паровых турбин устанавливаются следующие показатели премирования:

1. Повышение к.п.д. обслуживаемого турбогенератора за смену, если имеется посменный достаточно точный учет расхода тепла по отдельным турбогенераторам. Премиальная сумма устанавливается за каждый процент понижения расхода пара.

2. Снижение расходов электроэнергии на собственные нужды по агрегату или цеху в целом. За каждый процент снижения. При отсутствии посменного учета к.п.д. отдельных агрегатов, машинисты премируются по отдельным качественным показателям работы турбогенератора, а именно:

1) за улучшение вакуума — за каждые 0,1% углубления вакуума;

2) за повышение температуры питательной воды — за каждый 1° повышения;

3) за снижение расхода электроэнергии на собственные нужды по агрегату или цеху.

Премии машинистам не выплачиваются, если среднее за смену отклонение показателей от нормы в сторону ухудшения превышает следующую величину:

| | |
|---|---|
| По расходу тепла при премировании за к.п.д. | 1% |
| » вакууму в конденсаторе | 0,5% |
| » температуре питательной воды | 5° |
| » расходу электроэнергии на собственные нужды | 5% |

Результат работы машиниста, так же как и кочегара, определяется как сумма премий и вычетов по отдельным показателям. За время пуска и стояния в резерве премия не выдается. Если машинист обслуживает несколько турбин, сумма премии и вычетов подсчитывается по каждой турбине в отдельности. Помощникам машинистов премия определяется по тем же показателям, в размере 50% среднего премиального приработка машиниста.

Определение нормальных значений отдельных показателей производится по данным испытаний.

...ри постоянной температуре охлаж-
...нагрузки турбины и количества охлаж-

...мального вакуума необходимо произве-
...ытания пользуясь предварительно проверен-
...ными приборами. Вакуум определяется при
...ах в зависимости от количества охлаждаю-
... от производительности циркуляционных

...испытания позволяют установить, при какой нагрузке вы-
...но включать один-два и более циркуляционных насоса и
...ой при этом получается вакуум. На станциях, имеющих те-
...фикационные машины с отбором пара и конденсационным
...хвостом, испытания по определению изменения вакуума долж-
...ны производиться в зависимости от часового расхода пара (тепла) в конденсатор, а не от электрической нагрузки турбины. Размер премии устанавливается в зависимости от величины среднесменного отклонения вакуума от нормы. Для правильного и объективного учета отклонений вакуума за смену необходимо, как правило, производить учет регистрирующим вакуумметром. Норма расхода электроэнергии на циркуляционные насосы определяется по испытаниям турбины и при нормальном вакууме.

Для небольших турбин без регенерации устанавливается норма температуры конденсата в зависимости от вакуума с допуском минимального переохлаждения. Для турбин с регенерацией норма температуры питательной воды устанавливается в зависимости от нагрузки турбины.

Кроме кочегаров и маш... также опреде-
...ала, влияющая
Премирование этой
...к окладу за 1% ме-
...оплачивается этой группе
...артал, причем первые два месяца
...от причитающейся премии за эти
...его месяца производится полный

...есть станций, а следовательно,
...ных цифрах, установлено три ка-
...группе относятся станции с годовым
...ыше 40 тыс. т, ко второй — с расходом
...третьей — станции с расходом условного то-
...т

...персонал — начальник смены, старшие
...машинисты, премируются по результатам
...ны, т. е. по ... электроэнергии



цеха. Премия определяется ежемесячно ...
...ченных результатов с плановыми показателями.

Премия начальнику цеха и инженерно техн... ...
...кам цеха устанавливается за повышение к п д нет... ...
снижение расхода электроэнергии на собственные н... ...
эффективность проведенных мероприятий по экономии т... ...
и электроэнергии и выражается процентом от основной ...а,
платы.

Размер премии определяется ежемесячно при сравнении фак-
тических результатов с плановым заданием.

По данным показателям в тех же размерах могут премиро-
ваться работники других цехов (лабораторий, группы эксплоа-
тации и т. д.).

Несколько особую группу представляют дежурные инжене-
ры, которые премируются в зависимости от средних показате-
лей работы отдельной смены на ТЭЦ (котельной, машинного
зала, топливоподачи и т. д.).

Размер премии дежурным инженерам определяется по ре-
зультатам работы смен котельного и машинного цехов и исчис-
ляется по среднему проработку премируемых работников в про-
центах к окладу. Если заданный график по выработке энергии
в течение смены не выполнен по вине станции и не выдержано
экономическое распределение нагрузок по агрегатам, дежурный
инженер лишается премии за эту смену. Месячная премия опре-
деляется по сумме сменных премий.

Дежурный инженер премируется за снижение удельного
расхода топлива и электроэнергии. Премия определяется еже-
месячно при сравнении фактических результатов с утвержден-
ным заданием. Премия определяется за каждый 1% экономии
топлива в процентах к окладу дежурного инженера. Премиро-
вание работников, обслуживающих тепловые сети, устанавли-
вается за каждую сэкономленную тысячу калорий тепла и за
каждую тысячу киловатт-часов электроэнергии на перекачку
воды.

Эта премия выдается только при выполнении следующих
условий по обслуживаемому участку теплосети:

1) по приборам должно быть учтено не менее 95% отпу-
щенного тепла;

2) температура обратной воды не должна превышать более
чем на 2° норму по графику;

3) должна быть выполнена норма возврата конденсата от
абонентов;

4) должны быть выполнены мероприятия по снижению потерь
тепла и электроэнергии.

Премии персоналу станций и сетей снижаются или совсем не
выдаются, если на станции или сети произошла авария. В этом

...ный фонд

...и теплоэкономичность теплосиловых

## ЛИТЕРАТУРА


А. М. Литвин, Теоретические основы теплотехники, ГОНТИ, 1939.

Котельные установки, т. I под редакцией М. В. Кирпичева, Госэнергоиздат, 1941

Котельные установки, т. II, под редакцией Э. И. Ромма, Госэнергоиздат, 1946.

И. И. Кириллов и С. А. Кантор, Теория и конструкция паровых турбин, Машгиз, 1947

Газовые турбины, под редакцией Л. А. Шубенко, Машгиз, 1947

А. А. Лаговский и В. В. Пакшвер, Тепловые электрические станции, Госэнергоиздат, 1948.

В. В. Лукницкий и В. В. Сильвестров, Паровые электростанции небольшой и средней мощности, Госэнергоиздат, 1948

П. Д. Лебедев и А. А. Щукин, Фабрично-заводская теплотехника, Госэнергоиздат, 1948.

А. М. Казанский, Вспомогательное оборудование турбинных установок, ОНТИ, 1940.

Ф. А. Анатолиев, Расчет вспомогательных устройств паросиловых установок, ОНТИ, 1936.

Б. М. Якуб, Тепловые электрические станции, ГОНТИ, 1938

И. П. Антипов и С. С. Ракита, Архитектура электростанций, Госстройиздат, 1939.

А. М. Романов, Водоснабжение энергоустановок, ОНТИ, 1936

М. Н. Кирсанов, Тепловые аккумуляторы, ОНТИ, 1935

Е. Я. Соколов, Тепловые сети, Госэнергоиздат, 1948

Л. А. Мелентьев, Вопросы энергоснабжения промышленности, Госэнергоиздат, 1941

Руссаковский и Шефтель, Энергетика отраслей народного хозяйства, ОНТИ, 1935

В. Н. Косточкин и А. И. Ляховский, Воздуходувные машины и станции, Металлургиздат, 1940

Б. А. Завадовский, Производственные паропроводы, ОНТИ, 1934

Конденсирование воздуха, под редакцией Н. В. Дегтярева, Госстройиздат, 1939.

Н. А. Семененко, Использование производственных отходов тепла, Госэнергоиздат, 1947

Тепловые насосы, под редакцией Л. А. Шубенко, Машгиз, 1947

Д. С. Жевахов, Мощные паровые турбогенераторы, ГОНТИ, 1934

В. А. М[illegible], Ро[illegible] паровых турбин, Госэнергоиздат, 1949

## Глава IV

### Основы проектирования, строительства и монтажа теплосиловых установок



## Глава V

### Эксплоатация теплосиловых установок



## Глава VI

### Теплоиспользующая аппаратура на металлургических заводах



## Глава VII

### Тепловые сети

## ЗАМЕЧЕННЫЕ ОПЕЧАТКИ

| Стр. | Строка | Напечатано | Должно быть |
|---|---|---|---|
| 65 | 11 св. | теплопровод | теплоперепад |
| 74 | 9 » | $p_2 < p_1$ | $p_2 > p_1$ |
| 83 | 10—11 св. | величины цикла | величины коэфициента в цикле |
| 117 | 6 » | 6 Очистка дымовых газов и золоудаление | 6. Очистка дымовых газов и золоудаливание |
| 177 | Таблица 19 гр. 1 | Прочие механические ремонты | Прочие механические решетки |
| 189 | 2 св. | колес | колец |
| 220 | 2 св. | $C_2$ | $C_w$ |
| 221 | 15 » | $\frac{C_1^2}{2g}\beta_1 + 1,4\ \frac{C_1^2}{2g}$ | $\frac{C_g^2}{2g}\beta_1 + 1,4\ \frac{C_g^2}{2g}$ |
| 221 | 9 и 10 св. | $\sqrt{\frac{g}{2825\,C_g}}$; $C_g$ | $\sqrt{\frac{g}{2825\,C_{тр}}}$; $C_{тр}$ |
| 242 | 19 св. | $t_к > t_п$ | $t_к > t_{пр}$ |
| 265 | формула 154 | $\frac{C_w}{2g}$ | $\frac{C_w^2}{2g}$ |
| 304 | 16 св. | —167°С | = 167°С |
| 351 | 7 св. | Конденсирование | Кондиционирование |


Д. С. Жеваков. Теплосиловое хозяйство металлургических заводов. Заказ 2231

Отв. редактор *К. М. Пахалуев* Техн. редактор *Е. Н. Зусман*

Сдано в производство 25 VII 1949 г Подписано к печати 29/IX 1949 г.
Формат бумаги 60×92/16 Печ л. 22,25 Уч.-изд. л. 24,6
НС 23111 Тираж 7000 Цена 13 руб. Заказ 2231

Типография Металлургиздата, г Свердловск, Дом промышленности